

分 类 号: P631.3  
研究生学号: 201461E141

单位代码: 10183  
密 级: 公开



# 吉 林 大 学

## 硕士学位论文

综合物探方法在青海省都兰县哈日扎多金属矿勘查中的应用研究  
Discussion on the application of integrated geophysical methods in  
the exploration of the Hariza polymetallic ore in Dulan County,  
Qinghai Province

作 者 姓 名: 钟明峰

类 别: 工程硕士

领域 (方向): 地质工程

指 导 教 师: 钱 焱 副教授

合 作 导 师: 王金海 高级工程师

培 养 单 位: 地球科学学院

2018 年 11 月

综合物探方法在青海省都兰县哈日扎多金属矿勘查中的应用研究

Discussion on the application of integrated geophysical  
methods in the exploration of the Hariza polymetallic ore in  
Dulan County, Qinghai Province

作 者 姓 名：钟明峰

领域（方向）：地质工程

指 导 教 师：钱 焯 副教授

合 作 导 师：王金海 高级工程师

类 别：工程硕士

答 辩 日 期：2018 年 11 月 30 日

未经本论文作者的书面授权，依法收存和保管本论文书面版本、电子版本的任何单位和个人，均不得对本论文的全部或部分内容进行任何形式的复制、修改、发行、出租、改编等有碍作者著作权的商业性使用（但纯学术性使用不在此限）。否则，应承担侵权的法律责任。

### 吉林大学博士(或硕士)学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交学位论文，是本人在指导教师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：钟明峰

日期：2018 年 12 月 2 日

# 综合物探方法在青海省都兰县哈日扎多金属矿勘查中的应用研究

作者姓名：钟明峰

专业名称：地质工程

指导教师：钱 烨 副教授

合作导师：王金海 高级工程师

## 中文摘要

青海省都兰县哈日扎地区位于东昆仑东段，属于东昆中多旋回岩浆弧带。研究区已识别出较大规模成矿带 4 条，成矿类型主要有热液脉型、斑岩型和构造蚀变岩型，成矿作用与岩浆活动关系密切。研究区自 2010 年以来开展了以铜铅锌为主的预查、普查、详查、科研工作，配套完成了大量不同目的、不同比例尺的物探工作，积累了丰富的物探基础资料。以往物探异常能较好的反应出不同的地质背景的地质体，大致判断物探异常含矿性，但就资料的运用方面仅关注年度的物探工作，未进行系统的整理和分析研究,未对已探明矿体与物探异常进行比对和正演模型的建立。

本文依托青海省哈日扎多金属矿勘查相关项目，应用哈日扎西北勘查区近几年的综合物探资料，从矿区区域地质背景、控矿条件、矿体成因类型出发，结合矿区已知矿体物探异常特征，通过分析研究，发掘矿床物探异常表现特征，总结出相应的物探异常找矿标志，建立了高精度磁测、激电中梯和音频大地电磁测深（EH4）等三种物探手段相结合的找矿模型。

通过此次研究成果，认为在岩体侵入和构造发育地区运用磁电组合物探方法，找矿效果突出；为矿区热液脉型Ⅱ矿带和构造蚀变岩型矿体Ⅴ矿带的远景和扩大矿体规模提供了依据。

### 关键词：

哈日扎，综合物探，高精度磁测，激电中梯，音频大地电磁测深（EH4），找矿模型

# **Analysis of Alteration Characteristics and Prospecting Potential in the South Region of Yazigou, East Kunlun**

**Author: Zhao Mengqi**

**Speciality: Geological Engineering**

**Supervisor: Associate Professor Qian Ye**

**Co-Advisor: Wang Jinhai Professor of Engineering**

## **Abstract**

The Harizha area of Dulan County, Qinghai Province is located in the eastern section of the East Kunlun Mountains and belongs to the multi-cyclone magmatic arc belt in the Dongkun area. The mining area has identified 4 large-scale metallogenic belts. The metallogenic types are mainly hydrothermal vein type, porphyry type and tectonic altered rock type, and the mineralization is closely related to magmatic activity. Since 2010, the research area has carried out pre-examination, census, detailed investigation and scientific research work mainly on copper, lead and zinc. It has completed a large number of geophysical explorations with different purposes and different scales, and accumulated rich basic materials for geophysical exploration. In the past, geophysical anomalies can better reflect geological bodies with different geological backgrounds, and generally judge the geology of geophysical anomalies. However, in terms of the application of data, only the annual geophysical exploration work is concerned, and no systematic collation and analysis studies have been conducted. The comparison between the ore body and the geophysical anomaly is carried out to compare and model the forward model.

This paper relies on the related projects of the Harizha polymetallic ore exploration in Qinghai Province, and applies the comprehensive geophysical data of the Harizha Northwest Exploration Area in recent years. Based on the regional geological background, ore-controlling conditions, and the genetic type of the ore body, combined with the known ore body geophysical exploration in the mining area. The anomalous characteristics,

through the analysis and research, explore the geophysical anomaly performance characteristics of the deposit, summarize the corresponding geophysical anomaly prospecting indicators, and establish three kinds of geophysical methods such as high-precision magnetic survey, IP ladder and audio magnetotelluric sounding (EH4). Combined prospecting model.

Through the results of this research, it is believed that the magnetoelectric composition geophysical exploration method is used in rock intrusion and tectonic development areas, and the prospecting effect is outstanding; it is the prospect of the hydrothermal vein type II ore and tectonic altered rock type ore body V ore belt in the mining area. Providing a basis for expanding the size of the ore body.

**Keywords:**

Harizha, comprehensive geophysical exploration, high precision magnetic measurement, Incentive ladder, audiomagnetotelluric method(EH4), prospecting model

目 录	
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究的目的和意义 .....	1
1.2 交通位置及自然地理 .....	1
1.3 研究现状 .....	2
1.3.1 地质研究现状 .....	2
1.3.2 地球物理勘查研究现状 .....	3
1.4 研究的内容和方法 .....	4
第 2 章 研究区地质概况 .....	5
2.1 地层.....	6
2.1.1 古元古代金水口群 .....	6
2.1.2 晚三叠世鄂拉山组 ( $T_3e$ ) .....	7
2.1.3 第四纪 (Q) .....	7
2.2 构造.....	7
2.3 岩浆岩 .....	9
2.4 火山岩 .....	9
2.5 变质作用 .....	9
2.5.1 区域变质作用 .....	9
2.5.2 接触变质作用 .....	10
第 3 章 研究区地质地球物理特征 .....	11

3.1 研究区矿床类型及矿体特征 .....	11
3.1.1 矿床组合及空间分布特征 .....	11
3.2 矿体特征 .....	12
3.2.1 I 矿带特征 .....	12
3.2.2 II 矿带特征 .....	12
3.2.3 III 矿带特征 .....	12
3.2.4 V 矿带特征 .....	13
3.3 矿石结构构造 .....	13
3.4 物性特征 .....	13
3.4.1 磁物性特征 .....	13
3.4.2 电物性特征 .....	14
3.5 异常特征 .....	16
3.5.1 磁异常特征 .....	16
3.5.2 电异常特征 .....	18
第 4 章 综合物探方法在研究区的应用研究 .....	19
4.1 高精度磁测在研究区的应用研究 .....	19
4.1.1 高精度磁测方法技术 .....	19
4.1.2 质量评述 .....	21
4.1.3 数据处理及信息提取 .....	21
4.1.4 磁异常分析和解释 .....	22
4.2 激电中梯在研究区的应用研究 .....	28
4.2.1 激电中梯方法技术 .....	28



4.2.2 质量评述 .....	30
4.2.3 数据处理及信息提取 .....	30
4.2.4 激电中梯异常分析和解释 .....	31
4.3 音频大地电磁测深 (EH4) 在研究区的应用研究 .....	32
4.3.1 音频大地电磁测深 (EH4) 方法技术 .....	32
4.3.2 质量评述 .....	34
4.3.3 数据处理及信息提取 .....	35
4.3.4 EH4 异常分析和解释 .....	36
第 5 章 综合物探方法应用成果及找矿前景分析 .....	40
5.1 综合物探方法应用成果 .....	40
5.1.1 对断裂构造的应用效果 .....	40
5.1.2 对矿带的应用效果 .....	40
5.2 综合物探方法找矿标志及前景分析 .....	40
5.3 钻孔验证情况 .....	42
第 6 章 结论 .....	44
参考文献 .....	45
作者简介及科研成果 .....	47
致 谢 .....	48

## 第1章 绪论

### 1.1 研究的目的是和意义

青海省都兰县哈日扎勘查区位于东昆仑东段，属于东昆中多旋回岩浆弧带。研究区已识别出较大规模成矿带4条，分别是I、II、III、V矿带，成矿类型主要有热液脉型、斑岩型和构造蚀变岩型，成矿作用与岩浆活动关系密切。本次研究目的是研究在哈日扎多金属矿成矿地质背景和矿床地质特征下，地面多种物探方法相结合，建立地球物理—地质找矿模型，对矿床深部与外围找矿潜力进行指导。

### 1.2 交通位置及自然地理

研究区处于青海省海西蒙古族藏族自治州都兰县境内，行政区划隶属都兰县热水乡管辖，从西宁经109国道可至都兰县，沿都兰—察汗乌苏—花石峡一线修有简易公路。研究区位于青海省都兰县热水乡察汗乌苏河上游浪麦滩以南，距离都兰县城约70km（如图1.1），至矿区交通条件较好。从浪麦滩沿一条约12km的简易便道到达工区，干旱季节行车尚属方便，雨季行车较为困难。

研究区位居昆仑山东端，研究区内山势陡峻，地形剧烈切割，除山脊岩石裸露外，河谷、山间大滩和山麓多有风成黄土及风成砂覆盖。研究区内海拔4400m左右，最高的哈日扎主峰海拔为4706.2m，地势相对高差一般在500~1100m。总体地貌格局为北东低西南高。

研究区属于典型的大陆性高原荒漠气候，空气稀薄，干旱多风，昼夜温差大，无霜期短，冰冻期长，降水量远远小于蒸发量为其主要特征；1月份平均气温为-10.8℃，7月份平均气温15.5℃，年平均气温2.0℃。平均气压600℃毫巴左右，煮水80℃即为沸点，属高原低压缺氧区；随着海拔高度的增加，气温愈低。气候的垂直分带性明显，高山区有常年冻土，土壤类型主要由寒性干旱土和寒冻正常新成土组成。由于柴达木盆地和高原内高空气旋产生的风力携带下，风成物质在山体内降落，在山坡和河道两侧形成风积黄土盖层，黄土盖层从山缘向山体内部逐渐变薄，覆盖减弱。植被不发育，主要为干旱类型的含羽柱紫花针茅和蒿草草原类型。春、

秋季多风，最大风速 30 米/秒。霜期从 10 月份至翌年 5 月底，5—10 月为野外生产的黄金季节。勘查区内供水条件较为便利，勘查区 V、VI 矿带详查段附近 2 公里范围内有流量较小的河道，雨季水量较大，枯水期下游断流；矿区外围有常年流水的察汗乌苏河，河水流量大。矿区周边无民用及商用电网铺设，距离矿区 50km 处有村庄居民用电。

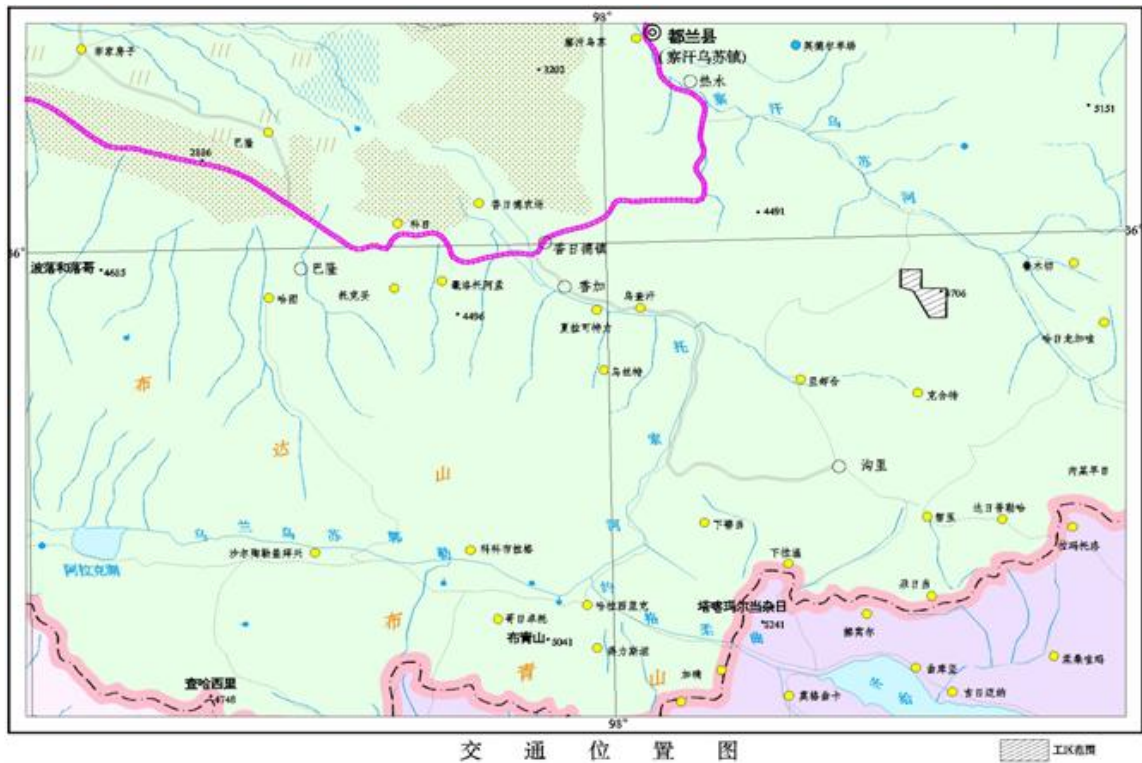


图 1.1 哈日扎勘查区交通位置图

区内无常住人口，工区以北居民区以汉、藏、蒙族为主，回族次之，较集中分布于热水乡及青藏公路交通线附近。主要从事农牧业生产，小麦、青稞为主要农作物；热水乡地区多数牧民沿察汗乌苏河一线放牧，牲畜主要有牛、羊、马等，少量骆驼。区内工业不甚发达，但有一定规模的矿业开发，周边主要有隆统铅锌矿点、天源铅锌矿、胜利铁矿、可热沟铜多金属矿点、那日玛拉黑银多金属矿点等采掘点；生产、生活等物资均需从都兰县及外部运入。

## 1.3 研究现状

### 1.3.1 地质研究现状

1. 首先查明了哈日扎地区矿床特征，确定主攻矿床类型为中低温热液脉型—矽

卡岩型多金属矿。

2. 在哈日扎北区通过 1:1 万地质修测工作, 首先对已有矿带进行了重新圈定; 其次大致圈定了火山集块岩和外围矽卡岩带的出露范围, 并发现了一些矿化信息。

3. 通过 2010—2015 年的普查找矿工作及 2012—2014 年地质调查评价工作在矿区内地表共圈定蚀变带 23 条 (北区 13 条, 南区 10 条), 矿 (化) 带 7 条。其中北区受构造控制的热液脉型矿带 3 条。

4. 对三叠纪陆相火山岩成矿特征及与成矿有关的多组构造特征调查不清楚, 区域资源潜力不明。对早二叠世花岗类岩体中发育的北西向构造带中的矿体特征、成矿地质条件及矿体的变化规律等不清楚。<sup>[1-5]</sup>

### 1.3.2 地球物理勘查研究现状

1. 1966 年地矿部航磁大队进行了 1:20 万航磁测量, 在勘查区及外围发现磁异常数十处, 并择优进行了检查工作, 但勘查区内的航磁异常大多未进行检查。

2. 1966~1970 年, 地矿部第三物探队, 青海省物探队, 冶金物探公司, 冶金八队, 西北 182 队以及青海省第八地质队在勘查区北部先后进行了 1:25 万、1:10 万、1:5 万、1:2.5 万和 1:2 千~1:1 万的以铁为主的矿产普查和磁法测量; 并检查了都兰县一带的航磁异常, 评价了海寺、希龙沟、小卧龙、柯柯赛、南戈滩、占卜扎勒等 5 处铁和锡矿床、初步查明了矿点、矿化点 20 余处。主要成果有《青海省都兰地区矽卡岩型铁矿成矿的一些地质物探基本特征及找矿方向》等。

3. 2002~2003 年青海省地质调查院完成了 1:20 万都兰幅和沟里公社幅区域重力调查, 工作范围覆盖全区。

4. 2005 年青海省地质调查院在察汗乌苏河一带进行 1:5 万矿调, 将勘查区一带划分为弱磁异常区。并在矿区完成了 1:5 千激电中间梯度法剖面 3.1km 和 1:1 万激电中间梯度法剖面 5.38km, 圈定了 6 处激电异常。

5. 2008~2012 年山东省第七地质矿产勘查院受青海省金星公司委托对鄂拉山地区 J47E022012 (巴硬格莉山幅)、J47E023012 (琅玛幅)、J47E023013 (哇洪水电站幅)、J47E024012 (尕录幅)、J47E024013 (扎龙加当幅)、I47E001012 (鲁木切幅)、I47E001013 (都龙牙哆幅) 等七幅地区进行 1:5 万地面高精度磁测工作。项目名称为“青海省鄂拉山地区 J46E022012 等七幅 1:5 万高精度磁法测量”, 全区共圈定了

52 个磁异常,其中甲类异常 3 个,乙类异常 17 个,丙类异常 6 个,丁类异常 26 个。

6.2007 年青海省地质调查院在哈日扎北区开展了 1:1 万激电中梯扫面,共圈定了六处激电异常,南区 H07WP22、H07WP24、H07WP25 等剖面具有明显的低阻高极化激电异常,为进一步工作提供了测区地球物理基础资料,并认为此次工作采用的物探工作方法对热液脉型等矿化有较好的指示意义。

7.2010 年青海省第三地质矿产勘查院在哈日扎开展了 1:1 万高精度磁法测量,在北区共圈定了 2010C1、2010C2...2010C8 共八处磁异常,其中 C1-C5 地磁异常大致圈定了深部隐伏斑岩体的范围,同时推测出了 7 条断裂构造。

8.2015 年,陕西地矿第二综合物探大队开展的《青海省都兰县察汗乌苏河地区 1:5 万重力测量》项目,该项目成果资料尚未提交。<sup>[6]</sup>

## 1.4 研究的内容和方法

依据研究区物探异常研究的国内外现状,结合研究区矿产勘查工作的实际需求,确定本论文拟解决的关键科学问题是:从研究区区域地质背景、控矿条件、矿体成因类型出发,结合区内已知矿体物探异常特征,通过分析研究,发掘不同类型矿床:热液脉型、构造蚀变岩型矿床物探异常表现特征,总结出相应的物探异常找矿标志,建立正演模型。

以野外实地调查和室内综合分析为基本研究方法。对选定的哈日扎西北多金属矿区的矿体进行成因类型分类,总体以 2010 年至今形成的物探资料为基础,综合现有成果资料,运用 Surfer、MapGIS、Excel 等软件对各类成果进行分析研究,以取得客观评价和认识。

第 2 章 研究区地质概况

研究区位于东昆仑东段，据青海省矿产资源潜力评价最新成果资料，以近东西向穿过工作区的昆中断裂带为界，研究区在大地构造位置上属秦祁昆造山系(IV)、东昆仑弧盆系(IV-8)，处于北昆仑岩浆弧段(IV-8-3)（表 2.1、图 2.1）。区内发育古老变质岩系，印支期、华里西期构造岩浆活动频繁，构造作用较复杂，成矿作用类型多样，化探、物探异常广布，并在研究区周边已经发现验证多处成矿事实，是我省成矿区带和战略矿产资源的重要勘查地<sup>[1-3]</sup>。

表 2.1 研究区大地构造单元划分一览表

I 级构造单元名称	II 级构造单元名称	III 级构造单元名称
IV 秦祁昆造山系	IV-8 东昆仑弧盆系	IV-8-3 北昆仑岩浆弧 (Pt <sub>3</sub> -Pz <sub>1</sub> )

据《青海省矿产资源潜力评价》项目成果整理

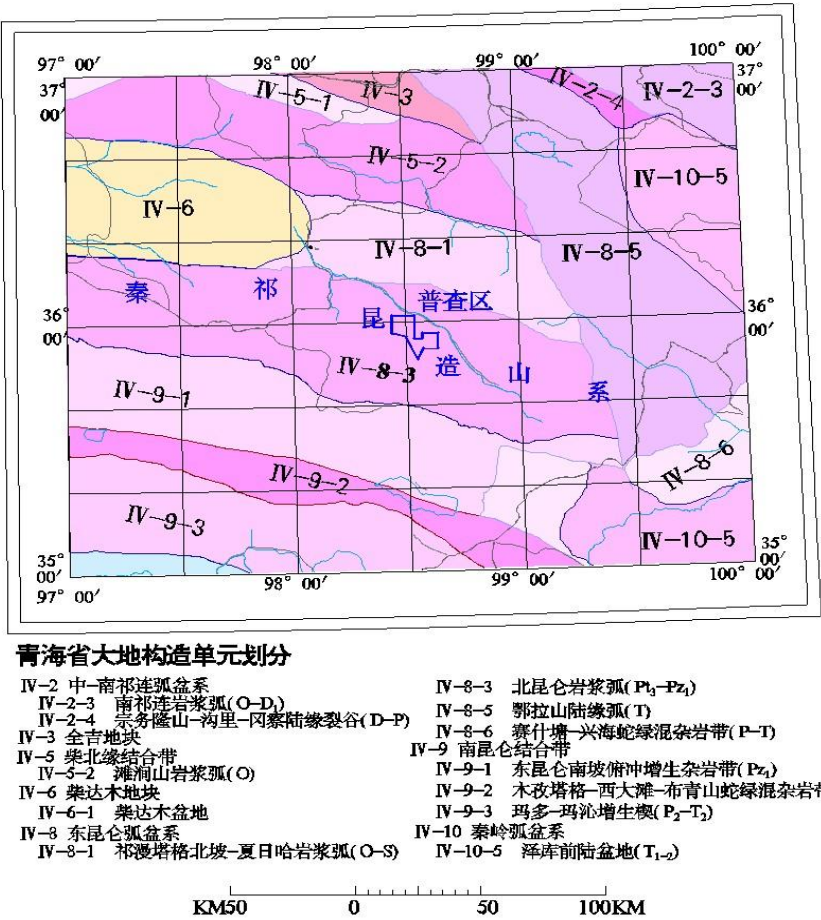


图 2.1 研究区大地构造位置图





片麻岩岩段 ( $Pt_{lja}$ ): 分布于北区那更沟北东侧山脊一带和南区东北角一带, 该岩性段北区与早二叠世侵入岩呈侵入接触关系, 南区与鄂拉山组地层呈断层接触关系, 岩性主要为黑云斜长片麻岩<sup>[6-9]</sup>。

### 2.1.2 晚三叠世鄂拉山组 ( $T_3e$ )

研究区有零星出露, 为一套陆相火山岩建造, 形成于叠覆造山环境, 呈喷发不整合超覆于先成地质体之上。岩性主要有灰绿色晶屑凝灰熔岩、含集块凝灰熔岩等, 岩石受后期构造影响普遍发育构造片理。

### 2.1.3 第四纪 (Q)

广泛分布于沟谷低洼地带, 成因类型可划分为洪冲积物 ( $Qp_3^{pal}$ )、沼泽堆积 ( $Q_h^{el}$ )、冲洪积 ( $Q_h^{pal}$ ) 等。

#### a. 洪冲积 ( $Qp_3^{pal}$ )

仅在北区斑岩矿带附近的沟谷中少量分布, 为晚更新世洪冲积物; 组成河谷阶地, 以砂砾石层、砂、亚砂土为主, 局部夹粉砂层, 其上部多被 10-40cm 不等的亚砂土覆盖。

#### b. 冲洪积 ( $Q_h^{pal}$ )

研究区区内主要沿现代河道支流的两侧分布, 为全新世冲洪积物; 主要由含泥土砂砾石组成, 物质成分为粘土、砾石和粗砂, 少量细砂, 局部夹泥质粉砂。沉积物呈层状, 具水平层理。河流阶地表面覆有 10~30 cm 厚的黄土层, 地表有植被生长。厚度各地变化很大, 一般小于 20 m。

#### c. 沼泽堆积 ( $Q_h^{el}$ )

研究区内仅出现两处, 为全新世沼泽堆积, 植被十分发育。

## 2.2 构造

研究区内构造变形主要为断裂构造, 褶皱构造不发育。断裂构造变形可分为两种基本类型, 即浅表部层次脆性断裂和浅表部层次 (脆) 韧性断裂。研究区内浅表部层次脆性断裂构造较发育, 几乎涉及所有岩石地层单位。按性质分为逆断层、平移断层和性质不明断层; 从断裂构造走向上来看, 围绕鄂拉山组晶屑凝灰岩发育近



东西向、北西—南东向、近南北向和北东向等5条断裂。1:1万高精度磁测在研究区推测了5条近南北向、北东向、北西向三组断裂构造。浅表部层次（脆）韧性断裂主要表现为一组北西-南东向展布的韧性剪切带。各断层详细特征见表2.2。

表2.2 研究区断裂构造一览表

断裂组	编号	规模（m）		产 状			断层性质
		长	宽	走向	倾向	倾角	
北西向	F1	300	5-10	280°±	20°	50°	逆断层
	F2	>510	3-5.5	280°±			平移断层
	F4	>5550	3-30	310°±	50°±	60°	逆断层
北东向	F3	650	3-5	45°	315°	50°	逆断层
近南北向	F5	1300	5-10	5°	275°	60°	平移断层

F1 和 F2 分布于斑岩体北东区域，规模相对较小，F1 为一条北倾的逆断层，为成矿后构造。F2 为一左行平移断层，对早期岩体、地层有一定错动，与成矿无关。F3 断裂发育于花岗闪长岩体与黑云斜长片麻岩地层接触带处，为一条北西倾的逆断层，断裂带中可见孔雀石化、褐铁矿化等，该断层周边次级的断裂破碎带较为发育，局部地段经探槽揭露发现铜矿体。F5 断层近南北向展布，分布于 I 号斑岩型铜矿带西侧约 200m 处，为一条右行平移断层，切穿 F4 断裂使其错开近 200m。该断层带内的金属矿化有次生褐铁矿化、黄铁矿化、黄铜矿化和次生孔雀石化，蚀变具强硅化及弱高岭土化和弱碳酸盐化，可能因含铜鄂拉山组晶屑凝灰岩在热液作用下发生萃取，在构造裂隙充填、交代而生成的矿化蚀变。

F4 分布于鄂拉山组晶屑凝灰岩的西南侧，均发育于早二叠世的花岗类侵入岩体中，其中 F4 断层呈北西向展布，倾向南西，出露长约 5.5km，宽 3~30m 左右；断裂带中岩性主要有碎裂花岗闪长岩、碎裂似斑状二长花岗岩、碎裂二长花岗岩以及晶屑凝灰熔岩；断层中具较强的矿化蚀变，如次生褐铁矿化，局部具黄铁矿化、次生孔雀石化、绢云母化以及硅化，经验证均与后期的岩浆热液活动有关。

另外在南区古元古代金水口群（Pt<sub>1j</sub>）中发现一条规模较大的韧性剪切带，主要受断裂构造的影响，在矿区内出露长约 1.1km，宽约 260m，产状 125°∠45°—78°。该韧性剪切带为区域上浪麦滩幅南东侧加当南—哈日扎南一线分布的大型韧性剪切带的一部分，早期为一韧性剪切带，晚期叠加脆性断裂。呈北西—南东向延伸，并被

后期岩浆侵入及喷发，断（层）裂构造改造破坏，第四系地层掩盖。剪切带的物质组成主要为糜棱岩或糜棱岩化斜长角闪片岩，原岩为金水口群各类变质岩。剪切带切割古元古代金水口群，该剪切带发生的时代可能为古元古代末期。

综合上述分析研究认为，哈日扎矿区断裂构造带以及产生的次级断裂蚀变破碎带，围绕鄂拉山组晶屑凝灰岩不同方向断裂带、蚀变破碎带十分发育，并且构造裂隙中有强烈蚀变和不少矿化线索，说明浅部有矿化反映，标志着深部存在隐伏岩体。

[1-9]

## 2.3 岩浆岩

研究区内岩浆活动十分强烈，岩浆岩分布广泛，主要表现为中酸性侵入岩；出露的侵入岩主要有加里东期晚奥陶世片麻状花岗闪长岩、辉长岩；华力西期早二叠世花岗闪长岩、二长花岗岩、似斑状二长花岗岩；印支期晚三叠世花岗闪长岩；燕山期早侏罗世二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩等。另外研究区零星分布有闪长岩、细晶岩、花岗斑岩等脉岩<sup>[7-10]</sup>。

## 2.4 火山岩

晚三叠世具有强烈的火山活动，火山岩具裂隙式—中心式陆相钙碱性喷发特点，以裂隙式喷发为主，具有造山带陆相火山岩特征。火山岩总体延伸方向为南东—北西向，基本与区域构造线方向一致。主要岩性有晶屑凝灰熔岩和英安岩<sup>[6-9]</sup>。

## 2.5 变质作用

研究区主要有两种变质作用，分别区域变质作用和接触交代变质作用，但其中接触交代变质作用有利于成矿。

### 2.5.1 区域变质作用

从研究区内已发现的成矿带来看，成矿过程与区域变质作用的关系不明显，但其有可能在成矿有利地段，如哈日扎矿区北区发育有混合岩化片麻岩，在区域变质过程中可能使成矿物质发生了一定的迁移和富集，进一步使成矿物质产生富集作用，

矿化叠加有利于后期成矿。与它有关的变质岩主要有片岩、白沙河岩组片麻岩夹片岩、碳酸盐岩。其中片岩岩段主要是砂泥质碎屑岩，片麻岩夹片岩岩段具岩石化学特征和岩石组合特征，它的原岩是一套夹火山岩的砂泥质碎屑岩，碳酸盐岩岩段主要是化学沉积的富镁碳酸盐岩<sup>[7-10]</sup>。

### 2.5.2 接触变质作用

接触变质作用主要发育在哈日扎矿区北部，在研究区形成了矽卡岩化带一处，其产生于白沙河岩组片岩岩段与早二叠世花岗闪长岩的侵入接触带，变质矿物的组合是透闪石、钙铝榴石、钙铁榴石和透辉石。变质相与低压区域变质作用的角闪岩相类似，与角岩相相当，在接触变质带矿物颗粒中发现重结晶有增大现象，说明岩浆侵入期间，围岩的温度很高<sup>[6-9]</sup>，这样对充分产生交代作用从而成矿创造了有利条件。

### 第3章 研究区地质地球物理特征

### 3.1 研究区矿床类型及矿体特征

### 3.1.1 矿床组合及空间分布特征

哈日扎西北研究区矿床组合比较简单，主要是热液脉型矿床，以含铜为主，如 I 矿带，产出规模较大，其旁侧地层中还有次级断裂破碎带发育，矿床均赋存于古元古代白沙河岩组黑云斜长片麻岩中；外围 II、III 矿带等热液脉型矿床，虽然规模比较小，但是品位比较高。矿带在空间上呈平行等间距分布，如图 3.1。

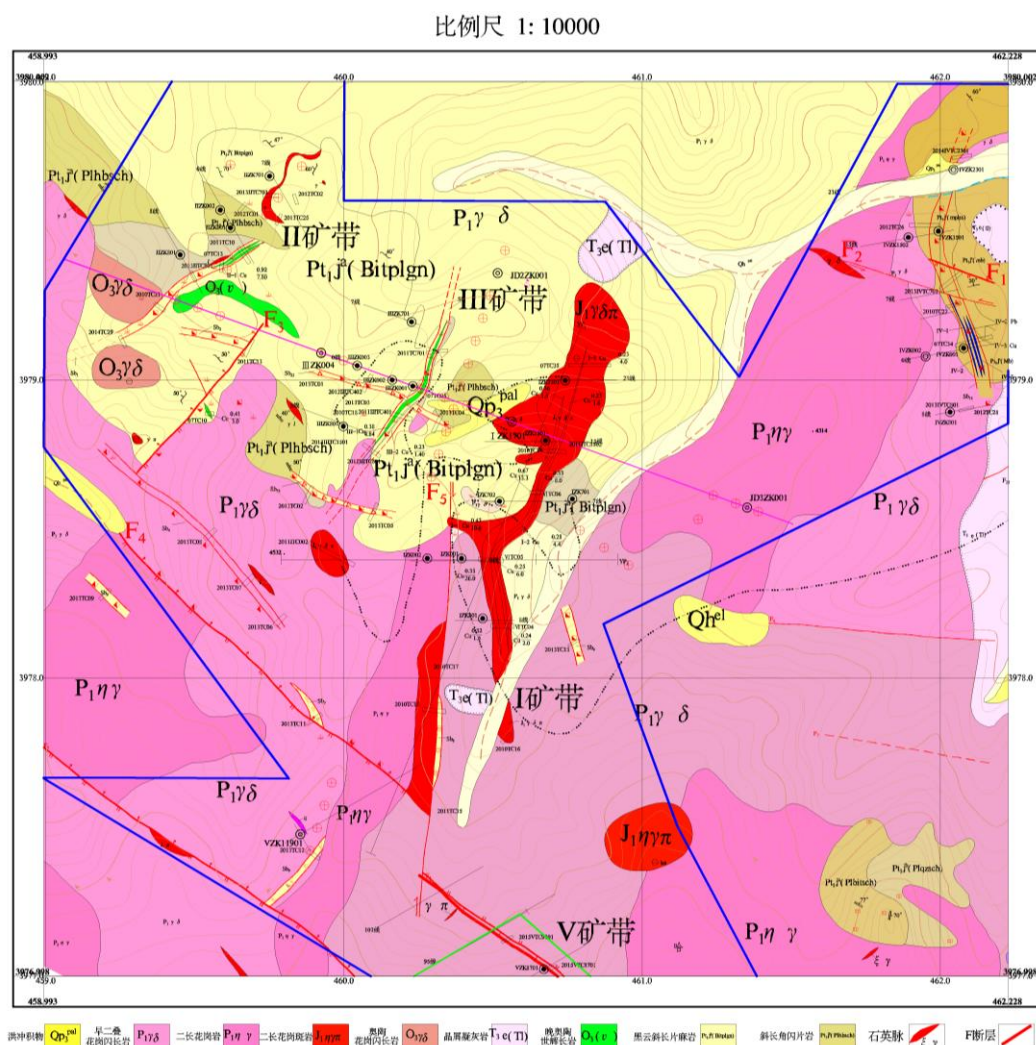


图 3.1 哈日扎北矿区地质简图

## 3.2 矿体特征

研究区内通过 2010—2015 年度的普查工作及 2012—2014 年地质调查评价工作在研究区内地表共圈定矿化带 3 条。各矿带特征如下：

### 3.2.1 I 矿带特征

此矿带位于哈日扎北 AS<sub>52</sub> 甲 1 异常中，主要沿平移断层（F5）分布，近南北向展布，断断续续出露约长 1410m，最宽处达 200m，主要围岩是早二叠世花岗闪长岩和白沙河岩组黑云斜长片麻岩。矿（化）带内晶屑凝灰岩比较破碎，大多呈碎裂状，矿化主要为孔雀石化、黄铜矿化和黄铁矿化，其中在鄂拉山组晶屑凝灰岩中有黄铜矿，呈细粒稀疏浸染状不均匀分布；地表岩体呈现出红褐色火烧皮现象，是因为黄铁矿氧化淋滤，属于热液脉型成矿类型。I 矿带由两条铜矿体组成，平均长度为 1000m，矿体平均品位为 0.38%，平均厚度为 7.5m。

### 3.2.2 II 矿带特征

矿带位于哈日扎北 AS<sub>52</sub> 甲 1 异常中所圈定的 1 号孔雀石化、褐铁矿化蚀变带内，蚀变带的圈定主要是依据地表见到的褐铁矿化、孔雀石化和碎裂岩化等矿化蚀变转石，赋存于夹片岩岩段的黑云斜长片麻岩的白沙河岩组片麻岩中，并受北东向断裂的严格控制，其走向为北东向，宽 25m 左右，两端覆盖有碎石流及草皮，根据地表转石的分布，推测此蚀变带的长度大于 600m。经浅部探槽揭露，蚀变带内圈出了 II 矿带，带内黄铜矿化、铁闪锌矿化、黄铁矿化、褐铁矿化、孔雀石化、硅化等矿化蚀变。深部以黄铜矿、黄铁矿化为主，二者共生，主要沿后期穿插充填的硅质脉体及片麻理裂隙分布，多呈团块状、薄膜状，铜平均品位为 0.59%，厚度为 1.5—9m。成因类型属热液脉型。

### 3.2.3 III 矿带特征

矿带位于哈日扎北 AS 甲 152 异常中所圈定的 3 号孔雀石化、碎裂岩化、褐铁矿化蚀变带内，在 I 号斑岩型铜矿带北西处约 400m。赋存于白沙河岩组片麻岩夹片岩与早二叠世花岗闪长岩岩段的外接触带中的黑云斜长片麻岩中，受断层控制，它的走向 30°左右，走向上覆盖有第四系植被，长约 600m，宽在 40—70m 左右，带内不

均匀分布孔雀石化，自北东—西南方向有加强的趋势，在西南端矿化较强，而北东端矿化很弱，矿带在地表主要见到了孔雀石、黄铜矿蓝铜矿及黄铁矿等金属矿化，黄铜矿和黄铁矿化主要发生在深部，二者共生，主要沿后期穿插充填的硅质脉体及片麻理裂隙分布，多呈团块状，矿体平均品位 0.41%，平均厚度 7.79m。成因类型属热液脉型。

### 3.2.4 V 矿带特征

矿带位于哈日扎南 AS<sub>2</sub><sup>58</sup>异常中所圈定的是 sb12 褐铁矿化蚀变破碎带内（破碎带岩性为晶屑凝灰熔岩），蚀变破碎带赋存于 F4 断层派生的次级断裂破碎带中，主要依据地表所见的碎裂岩化、褐铁矿化、高岭土化、硅化及少量黄铁矿化等矿化蚀变圈定。走向北西向，宽约 14-36m，长约 2700m。经探槽浅部揭露，带内圈出 V 矿带，围岩为早二叠世似斑状二长花岗岩；带内见高岭土化、碎裂岩化、硅化及少量黄铁矿化、方铅矿化等矿化蚀变现象，矿带内产有石英细脉，金属矿化与之有关。成因类型属热液脉型。

## 3.3 矿石结构构造

研究区斑岩铜矿石结构构造：黄铜矿主要为不等粒粒状、半自形—它形粒状结构。主要构造为浸染状构造、次有块状构造和脉状构造。

研究区热液脉型铜矿石构造和结构：构造主要以浸染状为主、以细网脉状构造次之。黄铜矿主要呈半自形—它形粒状结构。

研究区热液脉型铜、铅、锌、金、银矿石结构构造：主要为半自形—它形粒状结构。构造主要为浸染状构造，脉状构造次之。

## 3.4 物性特征

### 3.4.1 磁物性特征

研究区 2010 年开展了 1:1 万高精度磁测工作，共采集磁物性标本 136 块。主要出露岩性有花岗闪长岩、二长花岗岩，少量的变质长石石英砂岩和大理岩。经过对各种物性标本进行测定，其岩（矿）石磁物性参数统计结果如表 3.1。

表 3.1 研究区岩（矿）石磁物性参数统计表

标本名称	磁化率 (K) $4\pi 10^{-6} \text{SI}$			剩磁强度 ( $J_r$ ) $10^{-6} \text{A/m}$		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
二长花岗岩	41.98	705.7	143.88	1.41	12.47	5.53
黑云母斜长角闪片岩	10.88	376.2	173.65	0.70	7.78	3.74
高岭土化晶屑凝灰岩	70.35	590.1	247.42	1.74	10.67	6.60
花岗闪长岩	115.75	1134.73	313.43	1.52	50.73	7.55
变质长石石英砂岩	2.0	466.39	160.13	0.93	8.13	4.46
绿泥石化花岗岩	1.25	161.2	59.08	1.78	7.36	4.23
蚀变花岗闪长岩	36.08	839.77	292.95	1.84	12.20	5.1
孔雀石化晶屑凝灰岩	11.34	604.05	190.6	1.15	6.65	3.31
闪长岩	44.1	346.6	186.23	1.06	15.51	6.37
硅化大理岩	14.0	197.6	97.96	1.05	5.99	3.71
孔雀石化褐铁矿化 构造角砾岩	28.4	64.13	46.27	0.61	2.06	1.33
晶屑凝灰岩	99.74	398.85	251.61	2.09	5.74	3.73

从表中可以看出，矿区岩石的磁性特征分布规律是：

①研究区随着基性程度的增高，中酸性侵入岩磁性也增强；磁性最弱的是绿泥石化花岗岩；闪长岩、孔雀石化晶屑凝灰岩、二长花岗岩也具有弱磁性，其磁性不为稳定，变化较大。

②蚀变花岗闪长岩和花岗闪长岩的磁性中等，并且范围变化较大。

③研究区内的沉积岩一般呈弱磁性，变长石砂岩、硅化大理岩、灰岩等岩石的磁性随着变质程度加深有增强的趋势，例如黑云母斜长角闪片岩等岩石的磁性略强。一般无蚀变矿化的岩石比有蚀变矿化的岩石磁性弱，但研究区花岗闪长岩具有较强磁性，较为特殊，比蚀变花岗闪长岩磁性略高。

④含铜矿化的晶屑凝灰岩一般为弱磁性，与其他岩性磁性差异较小，孔雀石化，褐铁矿化构造角砾岩磁性最弱。

### 3.4.2 电物性特征

2007 年在研究区开展激电（中梯）剖面测量工作时，采集了 267 块物性标本；2008 年又补充采集了 13 块物性标本；2016 年在开展激电测井和大地电磁测深(EH4)工作是采集了 6 种岩性 229 块物性标本。经过对各标本进行物性测定，其岩（矿）石电物性参数统计结果见表 3.2。从表中可以看出：

表 3.2 研究区岩、矿石电物性测定结果统计表

岩矿石名称	电阻率 $\rho$ ( $\Omega\cdot\text{m}$ )		极化率 $\eta$ (%)	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值
花岗闪长岩 (地表)	335.63-39723	3708	0.63-3.78	1.70
辉长岩	481-12472	2742	0.87-3.01	2.07
晶屑凝灰岩	602-32688	4451	0.79-3.34	1.83
二长花岗岩 (地表)	1124-10854	3055	0.71-2.49	1.69
花岗斑岩	319-1947	779	0.55-1.80	1.16
黑云斜长片麻岩	923-4839	2319	0.90-2.30	1.67
蚀变花岗闪长岩	2217-23361	11566	2.56-5.82	3.57
凝灰熔岩	268-1950	801	0.68-1.77	1.24
二长花岗斑岩	327-41315	10840	0.87-4.73	2.66
石英脉	1240-27719	9506	0.79-1.84	1.21
英安岩	326-1857	789	0.63-1.11	0.91
流纹英安岩	156-6351	2557	1.42-1.58	1.47
角闪片岩	726-5488	2799	1.09-2.17	1.74
黄铁矿化花岗闪长岩	1481-4977	2705	6.06-7.14	6.76
大理岩	187.8-39189	12444.2	0.683-11.711	4.76
似斑状二长花岗岩 (地表)	119.38-18844	2166.02	1.22-7.108	2.704
细粒花岗岩	3090.2-19714	8043.94	3.041-8.172	5.63
晶屑凝灰熔岩 (地表)	96.96-627.5	254.51	0.87-1.836	1.34
变长石砂岩	123.82-66517	12389.33	0.41-29.806	6.002
褐铁矿化细粒花岗岩	313.972-3460.151	1901.62	1.0125-15.6449	6.50385
高岭土化绿泥石化似斑状二长花岗岩	47.314-56137.21	10659.3	0.2198-20.5425	5.227704
黄铜矿化、方铅矿化、黄铁矿化花岗闪长岩	17.067-30697.169	6346.25	3.4546-57.2134	11.32051
高岭土化含脉石英花岗闪长岩	3.145-194628.9	42366.7	0.6569-18.142	5.069858
方铅、黄铜、黄铁矿化脉石英	16.022-180374	43798.5	0.8974-66.7928	19.7005
晶屑凝灰熔岩 (孔内)	464.528-27282.96	5295.07	0.7154-18.3294	4.475833
二长花岗岩 (孔内)	554.192-27465.18	8078.22	0.8295-16.8624	7.926936
似斑状二长花岗岩 (孔内)	216.918-93693.36	19164.2	0.3379-6.1748	1.872139
花岗闪长岩 (孔内)	645.785-279540.5	24123	0.2204-8.558	1.361471



①蚀变花岗闪长岩、二长花岗斑岩、黑云斜长片麻岩、辉长岩等可以引起一定的视极化率异常，但是参照其高阻的特征，可以较好地地区分出来。

②花岗闪长岩、辉长岩、晶屑凝灰岩、二长花岗岩、黑云斜长片麻岩、流纹英安岩、角闪片岩、花岗斑岩、凝灰熔岩、石英脉、英安岩、高岭土化蚀变花岗岩、紫红色构造角砾岩等岩石表现为高阻低极化特征，不会引起激电异常。

③晶屑凝灰熔岩、花岗闪长岩的视电阻率、视极化率最低，呈低阻低极化特征；花岗岩、二长花岗岩视电阻率、视极化率值次之，呈中阻中极化特征；变长石砂岩、大理岩视电阻率、视极化率值最高，呈高阻高极化特征，是研究区引起激电异常的主要岩性。

## 3.5 异常特征

### 3.5.1 磁异常特征

研究区内蚀变花岗闪长岩、早二叠世花岗闪长岩和晚奥陶世片麻状花岗闪长岩是主要的中等磁异常体，能引起几百甚至上千纳特磁异常，该岩性反映的异常特征与区域上磁法测量中异常特征一致；该区的干扰磁异常特征呈较有规律的锯齿状跳跃。而含铜矿化的孔雀石化晶屑凝灰岩、二长花岗岩、晶屑凝灰岩具有弱磁性，引起的磁异常仅有几纳特乃至上百纳特，反映出来的强度比较弱，勉强能从背景场中区分出来，磁异常以 0 值线为标志，总体形状成一个近东西向的环形特征，大致能圈定隐伏岩体的范围。

研究区通过开展 1:1 万磁法测量，从剖面平面图可以看出整体较为简单，表现出相对单一的地质特征。单从地面磁异常整体趋势看，该区磁异常场在花岗闪长岩大岩基中表现为相对平缓的高值异常；晶屑凝灰岩表现为极低值异常；金水口群片麻岩地层中表现为锯齿状跳跃的高值异常。北区共圈出 8 处磁异常，对各异常特征进行列表解释(表 3.3)，对钻探验证见矿或待验证的异常进行重点介绍。

对测区 2010 年物探数据通过 100m、200m、400m、500m 等不同高度向上延拓和化极求导等处理，从不同高度向上延拓磁异常图上可以看出该区构造特征深部与地表并不一致，在向上延拓 500m $\Delta T$  等值线图上反映出构造走向为北东东—北东向。同时该区还发育北西向、近东西向、近南北向等断裂构造。北东向断裂规模最大，

次之为南北向断裂，近东西向、北西向断裂规模较小，其中北西向、北东向和南北向的断裂可能为研究区内主要的控矿构造。

表 3.3 2010 年哈日扎矿区 1:1 万高精度磁测成果一览表

1:1 万 异常编号	磁异常规模、特征	解释推断	异常 类型
2010C1	异常位于测区北部，磁异常走向近北西向展布，长约 2000m，宽 800m 不等，面积约 2km <sup>2</sup> ，出露有二长花岗岩和花岗闪长岩。	该异常上采集物性标本为花岗闪长岩，异常主要由花岗闪长岩引起。	非矿致异常
2010C2	该异常位于测区中北部，异常近似长条形、展布方向北东向、异常长约 1200m、宽约 300—500m、面积约 0.9 km <sup>2</sup> ，该异常出露地层较单一，为古元古代白沙河（岩）组黑云斜长角闪片岩和石英片岩。	地质路线调查过程中发现的铁铜矿化点位于该异常带上，异常区内地表见有孔雀石化构造蚀变带一处，次级断裂是寻找多金属矿的有利部位。	推测矿致异常
2010C3	该异常位于 C2 异常的南侧，异常近似长条形、展布方向北东向、异常长约 400m、宽约 100—300m、面积约 0.4 km <sup>2</sup> 。磁场值高低跳跃、梯度较小，磁场值局部西正东负，峰值达 130.15nT—-111nT。	出露地层为古元古代白沙河（岩）组和早二叠世二长花岗岩、早侏罗世花岗闪长斑岩呈侵入接触。有形成多金属矿床的可能。	推测矿致异常
2010C4	该异常位于 C3 磁异常东约 800m，该异常形似椭圆形，展布方向近南北向，面积约 0.4 Km <sup>2</sup> ，区内磁场值高低跳跃、梯度较小，磁场值为西正东负，峰值达 357nT— -40nT。	与古元古代白沙河（岩）组地层对应，东南部为早二叠世花岗闪长岩，其磁场特征表现为宽缓的正磁异常。推断为岩性接触带或断层引起的异常。	推测矿致异常
2010C5	该异常位于 C4 磁异常东约 600m，该异常形似长条形，展布方向北东-南西向，面积约 0.5 km <sup>2</sup> ，区内磁场值高低跳跃、梯度较小，磁场值为西正东负，峰值达 102nT— -60nT。	出露花岗闪长岩，具有中等磁性，在地磁异常剖面平面图上为锯齿状不规则异常，推断异常由早二叠世花岗闪长岩引起。	非矿致异常
2010C6	该异常位于 C5 磁异常南约 1000m，展布方向近南北向，面积约 0.3 km <sup>2</sup> ，磁场值高低跳跃、梯度较小，该异常是负异常背景上的局部正异常，异常规模中等，强度较弱。异常峰值达 195nT— -67nT。	该异常位于早二叠世二长花岗岩中残留的古元古代金水口群地层中，地表经检查发现少量黄铁矿化。	非矿致异常

续表 3.3 2010 年哈日扎矿区 1:1 万高精度磁测成果一览表

1:1 万 异常编号	磁异常规模、特征	解释推断	异常 类型
2010C7	C7 磁异常即 1:5 万磁测圈定的 M46 磁异常。异常走向近南北向展布, 长约 400m, 宽 300m 不等, 面积约 0.6km <sup>2</sup> , 异常为大面积的负磁异常中的局部正磁异常, 强度较弱, 曲线锯齿跳跃, 异常峰值达 45nT。	异常位于早二叠世花岗闪长岩, 推断异常由早二叠世二长花岗岩引起。	非矿致异常
2010C8	该异常位于测区东南部, 磁异常走向北东-南西向展布, 长约 100m, 宽 80m 不等, 面积约 0.1km <sup>2</sup> , 异常为大面积的负磁异常中的局部正磁异常, 强度较弱, 曲线锯齿跳跃, 异常峰值达 20nT。	异常位于早二叠世二长花岗闪长岩, 异常南侧有断裂通过, 西侧可见有闪长岩脉, 具黄铁矿化。	非矿致异常

### 3.5.2 电异常特征

2006 年—2007 年在哈日扎矿区开展了 1:1 万激电中梯剖面测量。从剖面曲线特征分析, 绝大多数激电异常曲线圆滑宽缓, 且具有低阻高极化率特征, 对照地质路线调查及探槽揭露结果, 大部分激电异常与已知矿(化)体以及地层与岩体接触带吻合较好。部分剖面曲线呈锯齿状跳跃, 这是由于极化体和良导体的分布不均匀所致。

2006 年在哈日扎北区针对 I 矿带实施了 9 条 1:1 万激电中梯剖面测量, 共完成了 6.1 km。其视极化率背景值一般在 2%~3% 左右, 在黄铜矿化和孔雀石化异常区其视极化率一般在 3%~9% 之间, 视电阻率在 100~500Ω·m 之间, 表现为低阻高极化特征, 能够较好的指示出矿(化)体的赋存部位。通过 2006 年、2007 年和 2010 年的工作, 对 I 矿带经探槽工程浅部揭露共圈定铜矿体 3 条, 其中 I-1 铜矿体控制长度约 1000m, 平均品位为 0.47%, 平均厚度为 10.6m。

## 第4章 综合物探方法在研究区的应用研究

### 4.1 高精度磁测在研究区的应用研究

#### 4.1.1 高精度磁测方法技术

此次野外使用的高精度磁测仪为 WCZ-1 质子磁力仪，其分辨率达 0.1nT,自动储存读数，计算机下载传输各种原始数据并保存。高精度磁测以地磁总场（T）为观测参数。

##### 4.1.1.1 WCZ-1 质子磁力仪器的噪声水平测定

噪声的测定方法：在驻地附近选择一处不受人文干扰影响且磁场平稳的地段，把所有仪器的探头放置在此地段，并保持探头间距在 20m 以上，读数的时间间隔为 10s，然后把这些仪器同步并进行日变测量，连续观测 120 个以上，按下列公式计算出每台仪器的噪声均方根  $S$ （要求小于 2nT）。

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2}{n-1}}$$

式中：

$\overline{\Delta X}$  —全部仪器同时观测值  $\Delta X_i$  的平均值；

$\Delta X_i$  —第  $i$  时的起始观测值  $X_0$  与观测值  $X_i$  的差值；

$n$  —总观测数；

$i=1, 2, 3, \dots, n$ ; [12-18]

通过计算，得出每台仪器噪声均方误差值  $S$ ，见表 4.1。

表 4.1 磁力仪噪声水平测定均方误差统计表

仪器编号	080840	080841	080842	080843	080845
均方误差 $\pm$ (nT)	0.09	0.24	0.23	0.24	0.22

##### 4.1.1.2 WCZ-1 质子磁力仪的一致性测定

一致性测定方法：在驻地选择无人干扰场影响且对浅层干扰较小的地段，测

线布置应穿过十余纳特的弱磁异常区，布置 60 个以上测点，做好每个测点的标记，让参与野外生产的所有仪器都在这些测点上往返观测，将观测数值都进行日改后，按以下公式计算各仪器的总观测均方误差。

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{m-n}}$$

式中：

$n$ —为检查点数；

$V_i$ —为某次观测值与该测点各次观测值的平均值之差；

$m$ —为总观测次数。<sup>[11-17]</sup>

计算出的所有仪器的总观测均方误差和单台仪器的均方误差（要求小于 2nT）。见表 4.2。

表 4.2 磁力仪器测定一致性的均方误差统计表

仪器编号	080840	080842	080843	080845
单台一致性均方误差 $\pm$ (nT)	0.81	0.79	0.85	0.91
多台一致性均方误差 $\pm$ (nT)	0.81			

#### 4.1.1.3 日变站的建立

根据规范的要求在测区内选择了一个基点，并进行了日变观测，确定了该测区的基点  $T_0$  值为 53317.7 nT。每天的日变观测在早校之前开始，在晚校之后结束。野外日变观测的时间间隔为 30s。

#### 4.1.1.4 野外工作方法

- ①工作人员野外观测时必须“去磁”。
- ②野外观测时确保点位正确，各小组的磁探头都统一高度为 2m。
- ③每天工作开工之前和结束之后应把仪器在校正点进行早晚校(了解一天时间内仪器性能正常与否)。
- ④1:1 万磁测面积按 1:1 万地形图上设计好的区域，测线方位  $270^\circ$ — $90^\circ$ （点距 20m、线距 100m），利用计算器算出各测线上测点的理论坐标，对测线和测点统一编点线号（均为双号）。野外工作时手持 GPS（72 型）定位仪按理论坐标定点、导航。高精度磁测工作与测绘定点可以同时进行，在每一个测点上要进行三次以上的重复观测，把重复性好的数据进行储存，同时 GPS 储存航迹、坐标和高程。

⑤测线的起终点与每隔 100m 处都木桩做标记，并写上点线号。

⑥对每天的观测数据进行了日变改正、高度改正、基点改正和正常场改正，最终得到异常数据 ( $\Delta T$ )。日变改正：WCZ-1 磁力仪器利用该仪器自带日变改正软件在计算机上自动改正。梯度改正和高度改正均利用“国际地磁参考 (IGRF) 2005 模型”编制的软件计算。基点改正：所有数据经日变、正常场、高度改正后再减去总基点磁场值得到磁异常值 ( $\Delta T$ )。

⑦对每天的磁测结果和航迹进行日常验收，不合格规范要求的返工。<sup>[12-18]</sup>

## 4.1.2 质量评述

### 4.1.2.1 高磁测量质量检查

磁测野外质量检查的方式按“一同三不同”进行，质检区段在工区内大致分布均匀。面积性质检工作量应大于总工作量的 3%。

在磁场平稳地段，工作精度用均方误差来衡量；在异常地段，工作精度用平均相对误差来衡量。根据 DZ/0071-93《地面高精度磁测技术规程》，本区工作采用总均方相对误差 $\leq 5\%$ 。

工作中 DZ/0071-93《地面高精度磁测技术规程》与设计书共同使用。

### 4.1.2.2 质量评述

磁测工作取得的原始数据都进行了严格的室内验收，对各计算数据都经过 100% 核对和复算。

哈日扎地区的 1:1 万高精度磁测共完成了面积  $12\text{km}^2$  (线距 100m、点距 20m)。共测有效物理点 5850 个，质量检查点 305 个，质检率为 5.21% (设计要求质检率大于 3.0%)，均方误差为 2.57% (设计要求小于 5%)。测区内没有一处面积性的丢点。

## 4.1.3 数据处理及信息提取

在进行解释之前，我们应对  $\Delta T$  异常数据进行了化极、向上延拓、垂向求导等处理，利用的软件为 Oasis montaj，化极之后的异常与原  $\Delta T$  异常的形态是基本相同，一般情况下，异常位置会向北移动几十米不等的距离，从而使得异常更加清晰直观。垂向求导处理是为了突出高频信息，同时使得梯度变化大和线型构造的磁异常更加明显的反映。向上延拓主要是为了反映不同深度的磁异常特征。

#### 4.1.4 磁异常分析和解释

##### 4.1.4.1 磁异常区的划分

对磁异常进行圈定主要是根据磁异常的特征及其在地域上的分布特征。通常把在地域上连续分布、磁异常特征相同或相近和具有相同或相近地质背景的异常划为一个异常,并进行异常编号;对于地域上成群分布、磁异常特征相同、具有相同或相近地质背景和相近、彼此独立、的异常,将其划为由多个“子异常”组成的磁异常。

对研究区内的磁异常按从上到下的原则进行编号,圈定了 C1—C8 等共 8 个地磁异常。

对测区数据进行了 100m、200m、400m、500m 等不同高度向上延拓和化极求导等处理,从不同高度向上延拓磁异常图上可以看出该区构造特征深部与地表并不一致,在向上延拓 500m $\Delta T$  等值线图上反映出构造走向为北东东—北东向。除了区域性磁场特征外,该研究区还发育近南北向、北西向和近东西向等断裂构造。其中北东向断裂规模最大,南北向的规模次之,近东西向和北西向的断裂构造规模较小,为区内主要的控矿构造。

##### 4.1.4.2 磁异常的解释推断

###### 1. C1 磁异常

C1 磁异常其实就是 1:5 万磁圈出的 M46 磁异常中的一部分。C1 异常位于研究区北部,磁异常展布的走向近北西向,长约 2000m,宽 800m 不等,面积约 2 Km<sup>2</sup>,异常中心坐标为:X=3979700,Y=17461240。异常为大面积的正磁异常,曲线锯齿跳跃,异常峰值达 770.3nT。该区为一较大规模的侵入岩体,侵入时间以二叠纪和三叠纪为主,主要有二长花岗岩和花岗闪长岩,异常上采集物性标本为花岗闪长岩,测定磁化率在  $300 \times 4\pi \cdot 10^{-6}$ SI 左右,岩石磁性极不均匀,异常主要由花岗闪长岩引起,从不同高度上延化极的等值线图可以看出,引起磁异常的岩体具有一定的埋藏深度,其磁性体边界的推断界限是以 $\Delta T$  异常化极垂向一阶导数平面等值线图中该异常区的零值线为准。推断为岩体异常。异常边部有可能形成矽卡岩型多金属矿床,是成矿的有利部位。

经反演模拟计算:该磁性体磁性较弱(磁化强度为  $667 \times 10^{-2}$  A/M)、规模较大,在 152 号线的磁异常,其中心顶板埋深大约 20m,宽约 35m,向下延伸约 120m,形体直立。其模拟形态详见图 4.1。

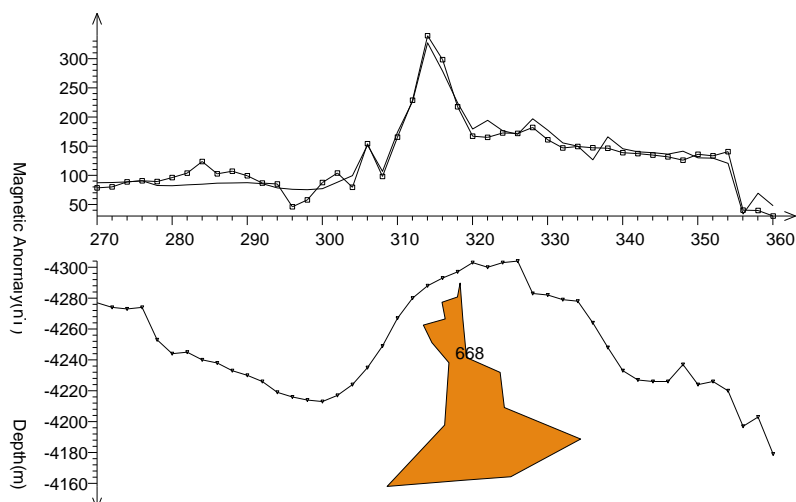
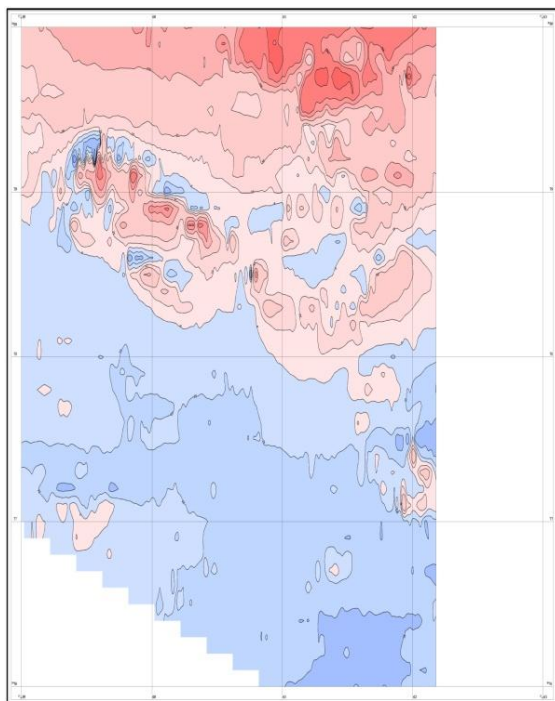
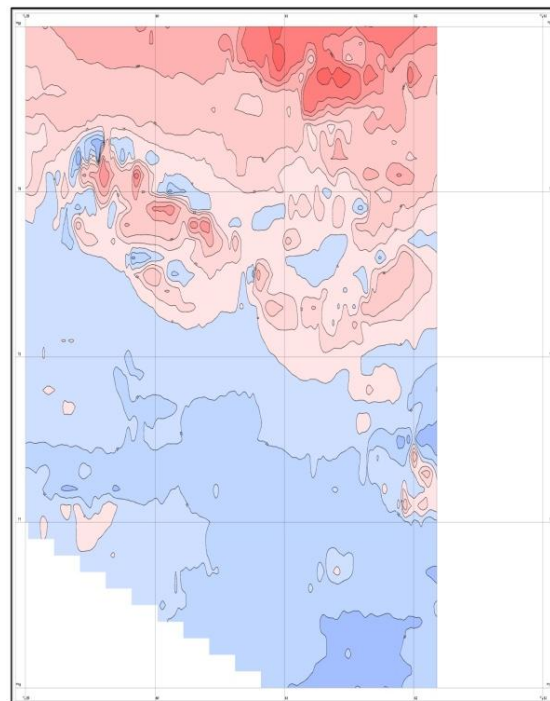


图 4.1 模拟形态

## 2. C2 磁异常

该异常位于测区中北部，异常中心坐标:  $X=3979580, Y=17459580$ 。异常展布方向北东向、近似长条形、宽约 300—500m、异常长约 1200m、面积约  $0.9 \text{ km}^2$ 。区内磁场值梯度较大、高低跳跃，磁场值北负南正，峰值达  $-113\text{nT}—525\text{nT}$ 。该异常出露地层较单一，为古元古代白沙河（岩）组黑云斜长角闪片岩和石英片岩。从物性统计结果分析，黑云斜长角闪片岩平均磁化率  $173.65 \times 10^{-6} \times 4\pi \text{ SI}$ ，从磁性特征看上述岩石

图 4.2  $\Delta T$  异常化极上延 100m 等值线平面图图 4.3  $\Delta T$  异常化极上延 200m 等值线平面图



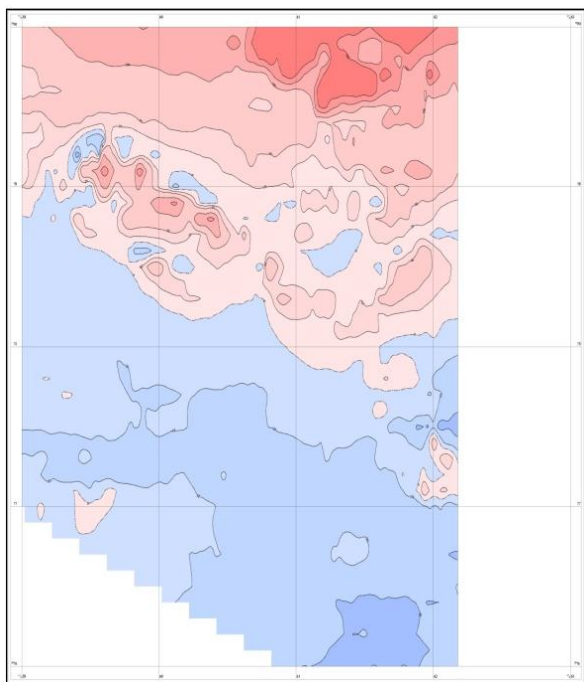


图 4.4  $\Delta T$  异常化极上延 400m 等值线平面图

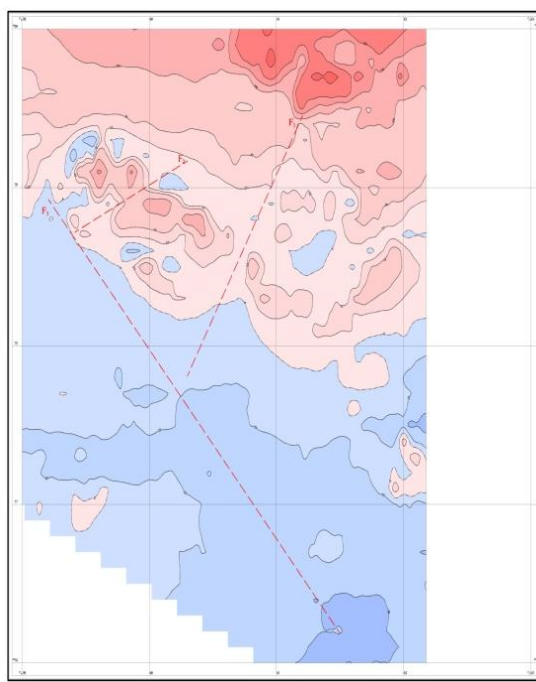


图 4.5  $\Delta T$  异常化极上延 500m 等值线平面图

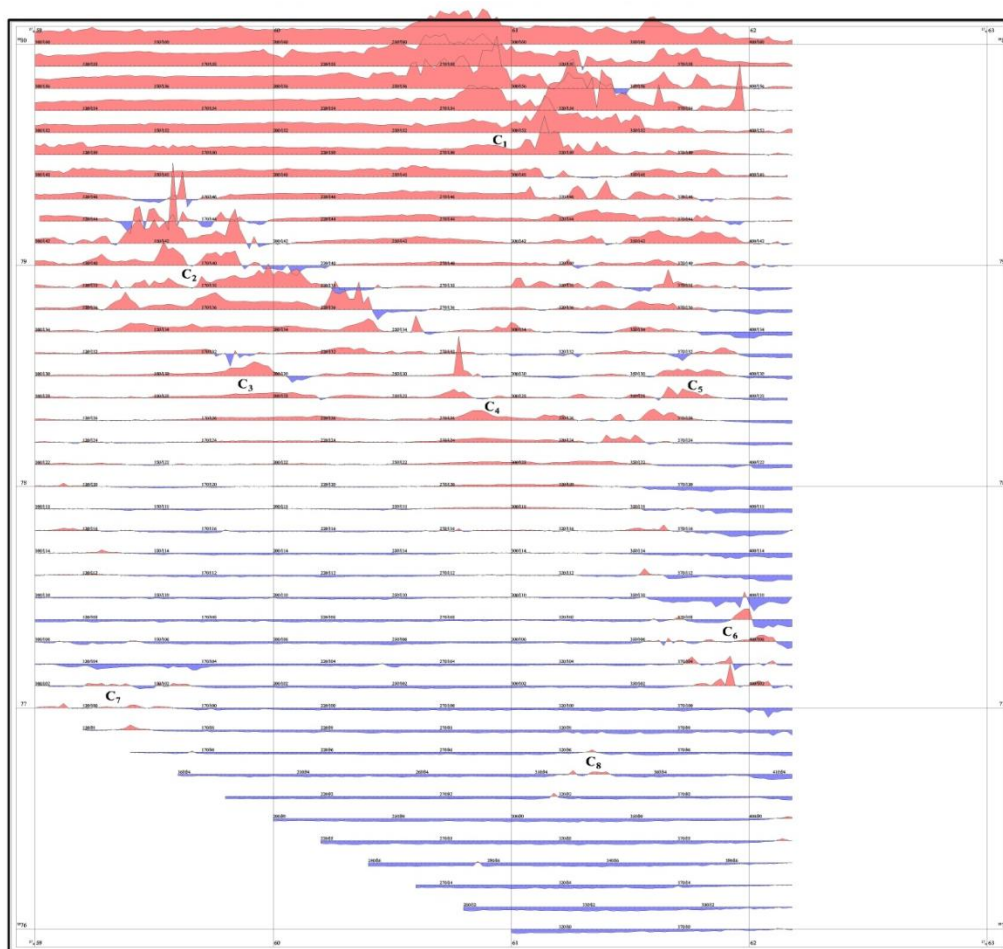


图 4.6 1:1 万高精度磁测  $\Delta T$  异常剖面平面图

具弱到中等磁性，与形成的磁场特征基本一致。该异常带北段侵入岩发育有晚奥陶世辉长岩和早侏罗世斑状二长花岗岩、花岗闪长岩等。地质路线调查过程中发现的铁铜矿化点位于该异常带上，异常区内地表见有孔雀石化构造蚀变带一处。古元古代白沙河（岩）组地层南侧与二叠纪浅肉红色中粒似斑状（含斑）二长花岗岩呈断层接触，北西侧与二叠纪灰白色中粒含斑花岗闪长岩呈侵入接触，岩层总体走向为北东向。在异常区构造极其发育，主要表现为北北东向、北东向和近东西向断层。在该异常段推断出4条北东向断层，编号为F1(W)、F2(W)、F3(W)、F4(W)。其中M2-1号铜矿体产于F1(W)断层中，M3-1号铜矿体产于F4(W)断层中，07TC10探槽中发现的铜矿体位于F2(W)断层中，所以在C2、C3异常中推测的次级断裂是寻找多金属矿的有利部位。其中多数断层均为性质不明，切割岩体并控制白沙河组地层的出露。其磁性体边界的推断界限是以 $\Delta T$ 异常化极垂向一阶导数平面等值线图中该异常区的零值线为准，也是推断圈定斑岩体范围的依据。该异常在向上延拓500m时异常还有显示（见图4.4），说明磁性体延深较大。

经144线反演模拟计算：引起该剖面异常的是三个磁性体，磁性较弱（磁化强度分别为 $365 \times 10^{-2} \text{A/M}$ 、 $203 \times 10^{-2} \text{A/M}$ 、 $193 \times 10^{-2} \text{A/M}$ ）、磁性体规模小，推测在此地段存在多条次级断裂构造。三个模型中心顶板埋深近地表，磁性体宽度较小，形体直立，向下延伸约不大。其模拟形态详见图4.7。

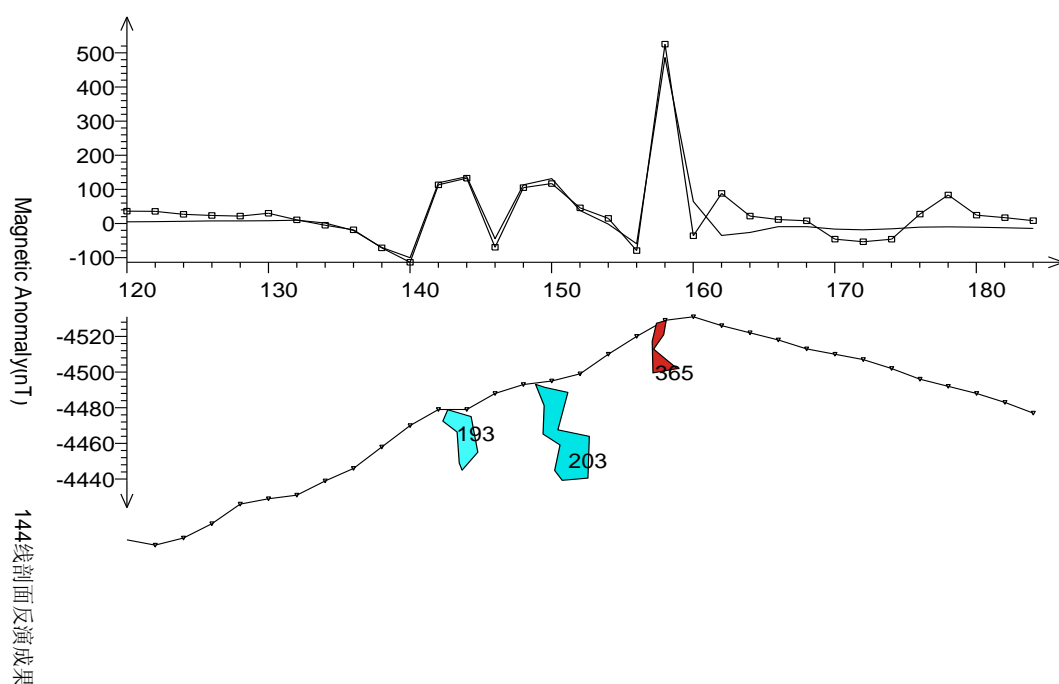


图 4.7 模拟形态

### 3. C3 磁异常

该异常位于 C2 异常的南侧,异常中心坐标: $X=3978500, Y=17459920$ 。异常展布方向北东向、近似长条形、异常宽约 100—300m、长约 400m、面积约 0.4 km<sup>2</sup>。磁场值高低跳跃、梯度较小,磁场值局部西正东负,峰值达 130.15nT—111nT。该异常出露地层为古元古代白沙河(岩)组和早二叠世二长花岗岩、早侏罗世花岗闪长斑岩呈侵入接触。该异常性质与 C2 号异常一致,中等强度的磁异常,为岩体与地层的接触带或断层构造的反应,有形成多金属矿床的可能。推断的 F4(W)号断层穿过 C3 和 C2 磁异常,其中 M3-1 号铜矿体产于 F4(W)断层中。

该异常在向上延拓 400m 时异常还有显示(见图 4.4),说明磁性体延深较大和埋藏较深。

### 4. C4 磁异常

该异常位于 C3 磁异常东面,距离大约为 800m。该异常形态似椭圆形,展布方向近南北向,面积约 0.4 km<sup>2</sup>,区内磁场值高低跳跃、梯度较小,磁场值为西正东负,峰值达 357nT—-40nT。该异常西北部幅值相对较高,300 余纳特,与地层古元古代白沙河(岩)组对应,中部由于具一定厚度的第四系覆盖,东南部为早二叠世花岗闪长岩,其磁场特征表现为宽缓的正磁异常。推断为岩性接触带或断层引起的异常。异常边部(C3- C4 之间)有可能形成矽卡岩型多金属矿床,是成矿的有利部位。其中 M1 矿化带穿过 C2、C3 和 C4 磁异常的边部,矿化带主体由不规则状的花岗闪长斑岩构成。

经过对 C4 异常的 130 线进行模拟反演,引起该异常的磁性(矿)体为一薄板状,磁性弱(磁化强度为  $301 \times 10^{-2} \text{A/M}$ ),延深约 120m 左右,顶板埋深近地表。其磁性(矿)体的形态、规模见图 4.8。

### 5. C5 磁异常

该异常位于 C4 磁异常东约 600m,异常中心坐标:  $X=3978400, Y=17461660$ 。该异常形似长条形,展布方向北东-南西向,面积约 0.5 km<sup>2</sup>,研究区内磁场值高低跳跃、梯度较小,磁场值为西正东负,峰值达 102nT—-60nT。异常与早二叠世花岗闪长侵入岩对应,根据实地采集标本,出露花岗闪长岩,具有中等磁性,在地磁异常剖面平面图上为锯齿状不规则异常,推断异常由早二叠世花岗闪长岩引起,在该异常的西部零值附近推断存在北东向的断层(F6(W)),寻找多金属矿的有利部位。

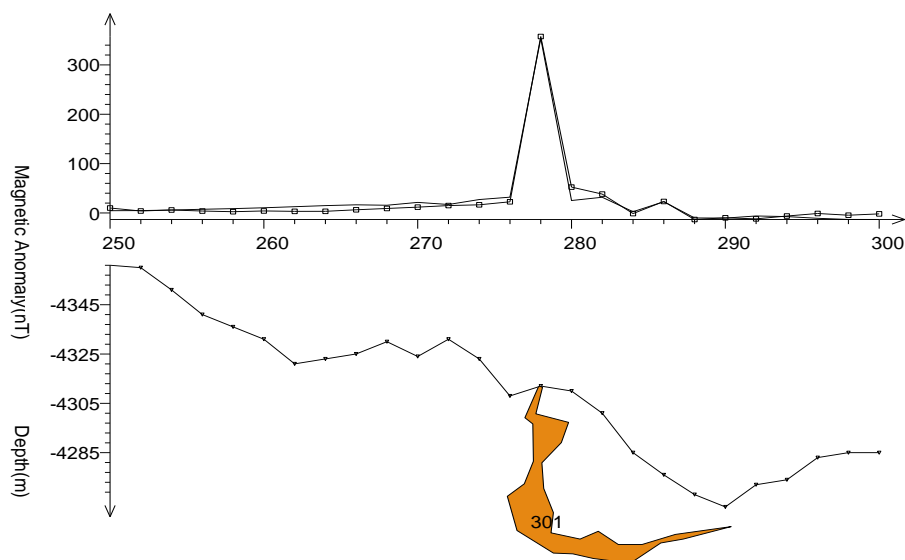


图 4.8 磁性（矿）体的形态、规模

### 6. C6 磁异常

该异常位于 C5 磁异常南约 1000m，异常中心坐标: X=39787100,Y=17461920。展布方向近南北向，面积约 0.3 km<sup>2</sup>,磁场值高低跳跃、梯度较小，该异常是负异常背景上的局部正异常，异常规模中等，强度较弱。异常峰值达 195nT— -67nT。异常位于古元古代白沙河（岩）组地层中。该异常带北段侵入岩发育有晚三叠世花岗闪长岩，南段侵入岩发育有早二叠世二长花岗岩，异常为古元古代白沙河（岩）组地层的综合反映，具有中等强度的磁异常。从上延地磁磁异常图上看，该区位于大面积负磁磁异常上，反映了较低的磁场背景，说明磁性体延深较大。

经对 C6 号异常 108 线模拟反演，引起该异常的磁性（矿）体为一板状体，磁性弱（磁化强度为  $285 \times 10^{-2} \text{A/M}$ ），延深约 110m 左右，顶板埋深近地表。其磁性（矿）体的形态、规模见图 4.9。

### 7. C7 磁异常

C1 磁异常就是 1: 5 万磁测圈出的 M46 磁异常中的一部分。该异常位于研究区的西南部，磁异常走向近南北向展布，长约 400m，宽 300m 不等，面积约 0.6km<sup>2</sup>，异常中心坐标为:X=3979700,Y=17461240。异常为大面积的负磁异常中的局部正磁异常，强度较弱，曲线锯齿跳跃,异常峰值达 45nT。异常位于早二叠世花岗闪长岩，异常为局部岩体的综合反因。

### 8. C8 磁异常

该磁异常位于研究区的东南部，走向为北东-南西向展布，长约 100m，宽 80m

不等,面积约  $0.1\text{km}^2$ ,异常中心坐标为: $X=3976700,Y=17461400$ 。异常为大面积的负磁异常中的局部正磁异常,强度较弱,曲线锯齿跳跃,异常峰值达  $20\text{nT}$ 。异常位于早二叠世二长花岗闪,有断裂从异常的南侧通过,磁异常与接触交代弱矿化蚀变可能有关。

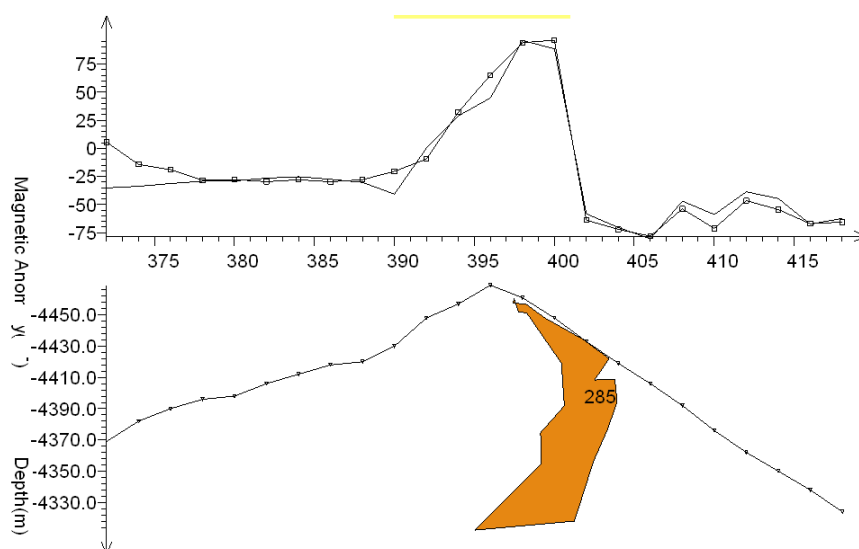


图 4.9 磁性(矿)体的形态、规模

通过 1:1 万高精度磁测工作,分析研究了成矿背景、成矿地质条件、物化探异常信息和矿化线索,最终完成了圈定异常,了解引起异常的主要地质因素,并作出磁异常的地质解释。取得成果如下:

①通过面积上的高精度磁测工作,了解了工作范围内的磁场特征,共圈定 8 处地磁异常(区),并进行了推断解释。

②通过 C1-C5 地磁异常大致圈定了斑岩体的范围,推断了 F1(W)、F2(W)、F3(W)、F4(W)、F6(W)、F7(W)6 条次级断裂构造,该 6 条断裂也是本区的主要找矿靶区。

从 1:1 万的高精度磁法扫面可以看出,老地层与围岩岩体接触,显示为高低磁异常过度带,呈马蹄形环状特征。

## 4.2 激电中梯在研究区的应用研究

### 4.2.1 激电中梯方法技术

#### 4.2.1.1 工作仪器

本次工作采用仪器为 WDJ-3 型多功能数字激电仪,该仪器信号读数稳定,工

作精度高。仪器在开始工作前都必须进行一致性、稳定性等测定。在野外工作期间,要进行定期保养维护仪器,确保所有工作仪器在整个野外施工期间具有良好的性能。

#### (1) 仪器稳定性

单台仪器的稳定性测定使用同点测量法,即在同一观测点,放置好观测装置后,连续观测至少 30 次以上,当均方相对误差小于设计总精度的 1:2 时仪器合格,可以使用。

$$\text{单台仪器 } M_{\text{稳定性}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}^2}{n-1}}$$

$V_{ij}$ -测点上  $j$  号仪器之  $i$  次观测值与该台仪器所有观测值的平均值的差值与该平均值的比值。

#### (2) 仪器一致性

工作仪器在开工作前、后必须进行单台一致性测定。要求仪器的观测结果无明显的系统误差,具体方法是:

在极化率变化较大的异常地段设置测点,测点总数应大于 30 点。选择 AB、MN、I,使  $\Delta U_1$  在 100mV 以上,仪器在相同条件下往返观测,计算均方相对误差,其精度不大于设计精度的 1:2 符合要求。

$$\text{单台仪器 } M_{\text{一致性}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_{ij}^2}{n-1}}$$

$V_{ij}$ -某点 ( $i$ ) 上  $j$  号仪器之往返两次观测值的差值与平均值的比值<sup>[11]</sup>。

#### 4.2.1.2 方法技术

采用的方法为激电中间梯度法,在剖面两端布设供电电极,在供电电极距中间 2/3 段布设测量电极并按测量点距逐点进行移动测量,仪器记录的实际点位为 MN 的中点,测量参数为视电阻率  $\rho_s$ 、视极化率  $\eta_s$ 。供电电极采用紫铜电极或钢电极,测量电极采用不极化电极<sup>[10][23]</sup>。

在开展野外工作前,结合以往工作成果和地质,以确定最佳的工作装置和供电、测量极距,然后再开展工作。

供电电极距选择范围为 800-1200m，测量极距为 20m，供电时间拟定 8s，断电延时 200ms。野外实际工作中，在开展激电测量前先敷设好测网，然后根据测线布好供电电极 A、B，若测线距离较近，可采用主、旁测相结合的测量方式；为保证足够大的一次场电位信号，旁测线离主测线的距离不宜过大（规范要求 $\leq 1.5AB$ ）。

每天要测量不极化电极的极差，要求开工极差小于 2mV，收工极差小于 5mV。开工前、变换测线和收工后要对所有导线进行漏电检查，要求供电线绝缘电阻大于 2MΩ/km、测量线绝缘电阻大于 5 MΩ/km。

## 4.2.2 质量评述

检查点两次观测的视电阻率、极化率数值基本一致。其中  $M$  按下式计算：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}_i}{\bar{x}_i} \right)^2} \quad (4.1)$$

式中： $x_i$ —第  $i$  点原始观测值；

$x'_i$ —第  $i$  点检查观测值；

$\bar{x}_i$ — $x_i$  与  $x'_i$  的平均值；

$n$ —检查点数； $i=1, 2, \dots, n$ 。

通过上述质量统计计算，本次激电中梯视极化率均方相对误差是 2.05%，视电阻率均方相对误差是 3.3%，满足检查点重复精度 $\leq 5\%$ 的规范要求。

## 4.2.3 数据处理及信息提取

当天采集的野外数据及时进行数据传输和编辑，按照测线建立文件夹并及时备份，以确保野外数据存贮安全。逐点检查发射机及接收机原始观测记录，对仪器工作状况和接收原始数据中的突变点询问标记，以备日后自检检查。计算相应的视电阻率参数并绘制野外成果草图，对工作区内异常地段及时安排加密或者异常检查工作量。原始资料处理随野外工作进度同步展开，分日常处理和阶段性处理两部分。

### 4.2.3.1 日常资料处理

各作业组在工作的当日，对所获得的第一手资料进行检查验收，数据核对、剖

面登记等工作,及时发现问题,以便及时补救,保证原始资料的真实性和完整性。具体的检查内容包括记录本中数据的填写是否有规律性、完整和清晰,是否作了必要的标注和记录;野外出现的异常点、畸变点、突变点等是否进行了重复观测检查;发现的异常是否完整;各项技术指标是否符合设计书要求等。

应按下述原则对检查中发现问题进行处理:凡是质量严重降低或者数据无法利用的都应予返工,整体数据可靠但个别点报废的可归档使用。对个别测线,无法保证资料的质量,但尚可利用的,应该重点检查,应视情况给予补救。

对计算所用的常数进行百分之百的复核,复算精度不能低于百分之一,对全部的计算应进行百分之百的复算,应在对原始记录的检查基础上。异常地段的计算必须全部正确,复算结果的错误率不得超过百分之一,不得有因计算误差,出现假异常。通过对野外观测数据复算后,应对各种成果草图进行及时绘编,方便对一步野外工作进行指导,并对资料进行综合研究。逐步完善草图的内容应和加强其综合程度,作为手稿为绘编正式图件做准备。

随着工作的进行,应对仪器性能标定、电性参数测定、质量检查、地质、测地、试验等资料,进行及时整理并绘制表格和相应图件,作为资料研究的质量指标。

#### 4.2.3.2 资料的阶段性处理

野外工作进行到一定的阶段后,对所取得的各项资料进行全面、系统的整理、分析、对比,及时计算电性参数,原始数据资料应按阶段进行编录,绘制各种图件、表格。原始资料的上交,均应统一整饰、编目和装订。

### 4.2.4 激电中梯异常分析和解释

2007年在哈日扎北区测制了11条激电中梯剖面,共圈出6处激电异常,其异常大致呈北西向展布,视极化率一般都大于5%。其中JD1、JD2、JD3和JD4表现为中高阻高极化率特征,JD5和JD6表现为低阻高极化率特征。由于6个激电异常分布范围内地表覆盖厚,地表踏勘性检查工作未能对6个激电异常做出地质方面可靠的推断解释。

从激电中梯扫面可以看出,整个矿区外围为中高阻高极化的带状特征,中心为低阻低极化特征,从验证的钻孔来看,过渡带有很大找矿前景,但这个环状中高阻高级化特征北西方向和东南方向没有封闭,后期可以扩大地面物探扫面面积,进一



步追索异常带的延伸。

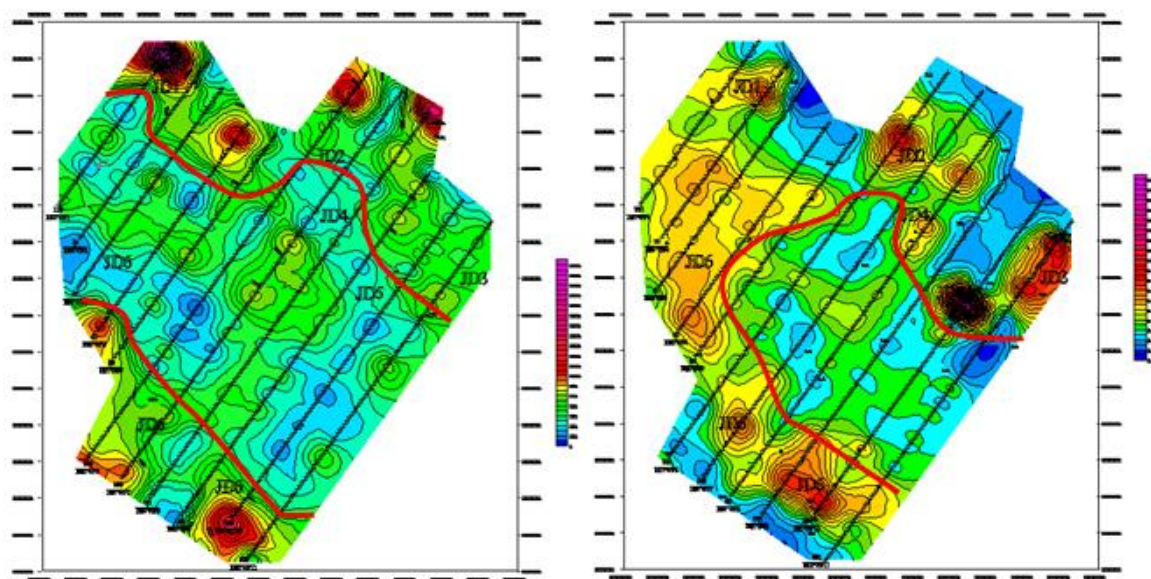


图 4.10 地面激电中梯视电阻率、视极化率平面等值线图

### 4.3 音频大地电磁测深（EH4）在研究区的应用研究

#### 4.3.1 音频大地电磁测深（EH4）方法技术

工作仪器为美国 EMI 公司和 Geometrics 公司联合研制的 Stratagem 电磁测量系统（EH4 连续电导率测量系统），低频磁探头的采集频段为 0.1Hz~1000Hz,普通磁探头观测频段为 10Hz~100kHz，仪器分三个频段测量，低频段为 10Hz~1kHz，高频段为 500Hz~3kHz，带通频段为 780Hz~92kHz。一般情况天然信号通常比较微弱，容易受地表高压线、通讯电缆、生活用电和雷电的干扰，要使用发射机（800Hz~64kHz）提高数据的质量；对于天然信号较强的情况下，可以不必使用发射机提供的额外的高频信号。

音频大地电磁测量属于主要依靠天然场源采集信号的时间域大地电磁技术，在布置测线上，由于音频大地电磁测深（EH4）是连续单点测量，对于各种不利地形应非常灵活的应用。通过野外观测，获得实时的  $H_x$ 、 $H_y$ 、 $E_x$ 、 $E_y$  振幅和  $\Phi H_x$ 、 $\Phi H_y$ 、 $\Phi E_x$ 、 $\Phi E_y$  相位，通过电阻率的一维反演和二维反演结果，可以反应出地下几米到上千米内的地质断面的电性变化信息。

其方法的激发场源就是利用宇宙中的雷电、太阳风等入射到地球上的天然电磁场信号，又称一次场，该一次场是平面电磁波，垂直入射到大地介质中，由电磁场

理论可知,大地介质中将会产生感应电磁场,此感应电磁场与一次场是同频率的,引入波阻抗  $Z$ 。在均匀大地和水平层状大地情况下,波阻抗是电场  $E$  和磁场  $H$  的水平分量的比值。

$$Z = \left| \frac{E}{H} \right| e^{i(\varphi_E - \varphi_H)} \quad (4.2)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{5f} |Z_{yx}|^2 = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (4.3)$$

$$\rho_{xy} = \frac{1}{5f} |Z_{xy}|^2 = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (4.4)$$

式中  $f$  是频率,单位是 Hz,  $E$  是电场强度 (mv/km),  $\rho$  是电阻率 ( $\Omega \cdot M$ ),  $H$  是磁场强度 (nT),  $\varphi_H$  是磁场相位,单位是 mrad,  $\varphi_E$  是电场相位。必须提出的是此时的  $E$  和  $H$  称为总场,即为一次场和感应场的空间张量叠加后的综合场。在电磁理论中,把电磁场 ( $E$ 、 $H$ ) 在大地中传播时,其振幅衰减到初始值  $1/e$  时的深度,定义为穿透深度或趋肤深度 ( $\delta$ )

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (4.5)$$

由式 (4.5) 可知,趋肤深度 ( $\delta$ ) 将随频率 ( $f$ ) 和电阻率 ( $\rho$ ) 变化,测量是在和地下研究深度相对应的频带上进行的<sup>[18][19]</sup>。

野外采集的是时间序列数据,在每个测点上连续观测、记录大地电磁信号。采集过程中通过傅氏变换转换到频率域,利用四个场分量的互功率谱计算出张量阻抗。实时显示四个相关分量的相对振幅、相位差、相关系数等参数,并显示电阻率曲线。测量过程中操作员实时观察曲线变化情况、监控数据质量。当信号较弱或电阻率曲线跳变较大时,尽可能多地增加叠加次数,压制噪声干扰,以确保所有测点的大多数频点相干度大于 0.7,电阻率曲线光滑连续。

一般来说,频率较低的数据反映较深的地层特征,频率较高的数据反映浅部的电性特征。因此,在一个宽频带上观测磁场和电场信息,并由此计算出相位和视电阻率。可确定出大地的地电特征和地下构造。

#### 4.3.1.1 布设电极的方法

1. 磁棒方位、电极方位用运用罗盘仪定向,距离由测绳测定。

2. 水平磁棒埋入土中保持水平，水平磁棒入土深度为 40cm。
3. 为了保证电极接地电阻不大于  $2K\Omega$ ，在电极四周垫土，周围浇水降低接地电阻。
4. 电极联线，磁棒联线及接入仪器的电缆均不能悬空，不能并行放置，每隔一定距离需用土或石块压实，防止晃动。

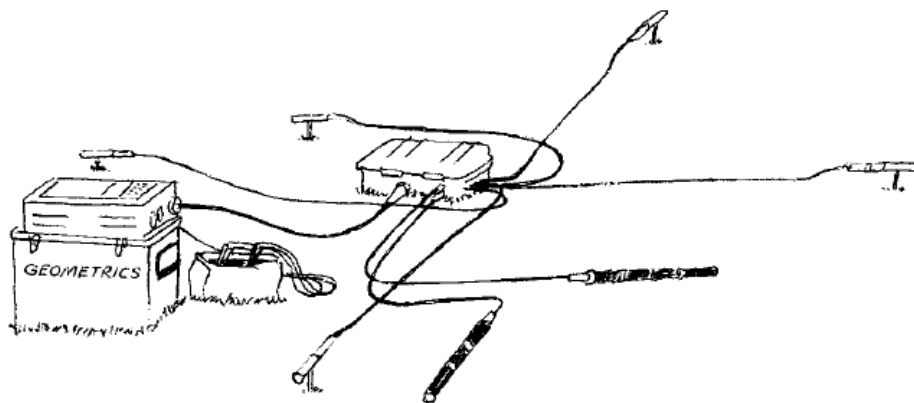


图 4.11 音频大地电磁测量野外装置布设示意图

#### 4.3.1.2 观测方法

野外观测记录原始时间序列资料，分频段采集 50kHz~10Hz 频率范围内的大地电磁信号。一个测点上连续进行观测。

一般情况下，在一个测点处 EH4 采集记录时间大于 15 分钟，高、低频段采集的时间序列段数应大于 35 段。每个测点采集完成之后均要立即进行现场处理，以便及时发现问题采取补救措施：如增加采样时间，增加迭加次数，甚至重新采集。

#### 4.3.2 质量评述

##### 4.3.2.1 平行测试

平行测试在仪器安装完毕后进行，目的是排除传感器出现问题的可能性，保证正式测量前仪器工作正常，

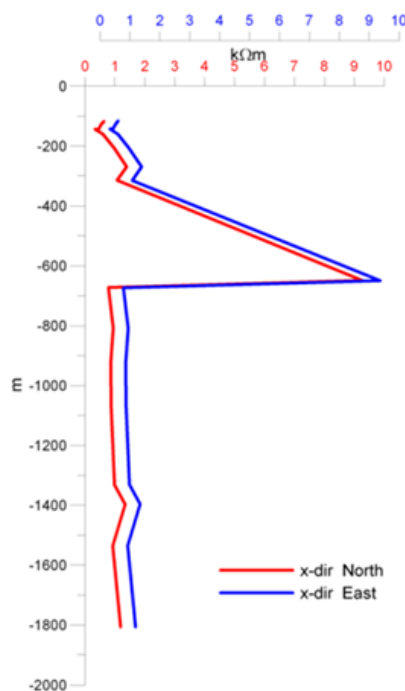


图 4.12 不同 X+方向电阻率曲线图

合理测量结果应该是频谱及响应曲线在两种模式下都相似，如果不一致，测检查电道或者磁道是否连接正常，有问题必须在排除后再次测试以保证仪器正常工作。

#### 4.3.2.2 质量检查

质量检查点应在同一测点，不同日期重新布极进行重复观测，检查点数不得少于全区工作量的 3%。检查点与被检查的全频视电阻率 ( $\rho_{xy}$ ,  $\rho_{yx}$ ) 曲线及相位 ( $\varphi_{xy}$ ,  $\varphi_{yx}$ ) 曲线应形态一致，对应频点的数值接近。经编辑、差值后检查点与被检查点同一极化的均方相对误差 ( $M$ ) 不应大于 5% (即  $M \leq 5\%$ )，均方相对误差计算公式如下：

$$M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - x'_i}{\bar{x}_i} \right)^2} \quad (4.6)$$

式中：  $x_i$ —第  $i$  点原始观测值；

$x'_i$ —第  $i$  点检查观测值；

$\bar{x}_i$ — $x_i$  与  $x'_i$  的平均值；

$n$ —检查点数；  $i=1, 2, \dots, n$ 。

#### 4.3.2.3 质量检查结果

本次音频大地电磁测量工作共完成了 130 个物理点，质检了 12 个点，质检率为 9.23% (设计  $\geq 5\%$ )，视电阻率均方相对误差为 4.12% (设计  $\leq 5\%$ )，视相位均方相对误差为 4.48% (设计  $\leq 5\%$ )，均达到设计要求，说明数据质量有效可靠。

### 4.3.3 数据处理及信息提取

本次音频大地电磁测深 (AMT) 工作仪器为美国 EMI 公司和 Geometrics 公司联合研制的 Stratagem 大地电磁测量系统 (EH4 连续电导率测量系统)，对原始资料进行检查验收，用 EH4 大地电磁测量系统自带程序 IMAGEM 对原始测点数据进行 1D 分析，对原始资料进行检查，检查每个测点的质量进行分析，并进行初步处理，对频点连续性差的测点，参照相邻点的同类曲线形态、类型进行平滑，做到客观、合理，符合测区内曲线变化的一般规律。在 IMAGEM 程序中对数据进行 2D 分析，并将成图数据保存在电脑硬盘上，保存的数据主要有深度-电阻率、频率-相位、频率-

电阻率数据，为后期数据处理做好准备，IMAGEM 程序进行数据二维反演时的圆滑系数为 0.1。

整理编制每天的台班报，并用截图软件对各点在 IMAGEM 一维分析界面里的频率、相位、电阻率原始曲线进行截图。反演数据主要使用 Golden Software 公司 surfer8.00 软件进行的数据网格化，网格化方法采用 Kriging 方式，X 方向值为测点的北坐标，Y 方向值为测点反演深度的海拔高，Z 值为测点反演视电阻率值。网格间距 X 方向 40m、Y 方向 40m，搜索扇形区 8 方向，搜索椭圆半径 1 为 300m，搜索椭圆半径 2 为 300m。

本次反演成果视电阻率等值线断面图、中段视电阻率等值线平面图成图软件采用 surfer8.00 成图，最后在 surfer 软件中经格式转换后，生成 MapGis 格式进行编辑、综合图件制作。用 GeoIPAS 绘制成 2D 电性断面图。

### 4.3.4 EH4 异常分析和解释

#### 4.3.4.1 工作布置依据及目的

研究区一共布置了 2 条音频大地电磁测深剖面，分别为 100 号线和 200 号线，共 5.12km，点距均为 40m（如图 4.13）。其中 100 号线为 N110°E，总长 2.6km，共 66 个物理点，布置依据及目的：

1. 研究 I、II、III 矿带深部延伸及分布情况。

2. 剖面经过 I 矿带已知钻孔 ZK1501，与 III 矿带 0 勘探线重合，通过已知信息进行类比，推断矿体深部延展情况。

200 号线为 N18°E，总长 2.52km，共 64 个物理点，布置依据及目的：

1. 追索 100 号线视电阻率二维反演断面图推断的侵入体在南北方向的延伸。

2. 同时穿过 JD2、JD6 号激电异常，综合研究解译异常原因。

3. 南部跨过 F4、F8 号断裂，类比研究构造蚀变带控矿的 VI 矿带在北西向的延伸情况。

#### 4.3.4.2 单剖面异常解释

从 100 号线断面图（图 4.14）上可以看到 I、II、III 矿带均为低高低电阻率过度带，结合勘探线所揭露的地质信息来看：



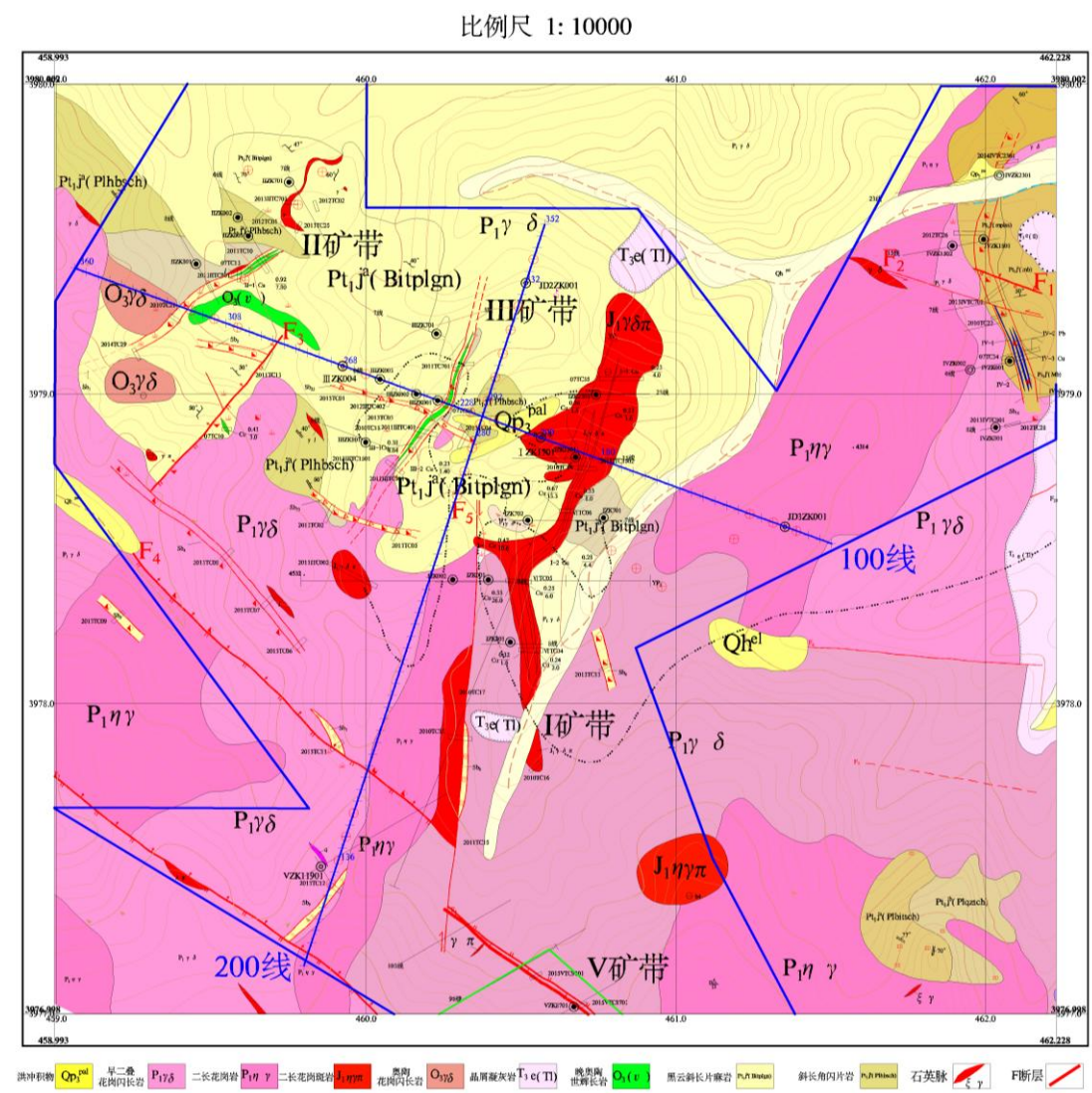


图 4.13 EH4 工作实际材料图

I 矿带主要沿近南北向的平移断层 (F5) 分布, 矿带主体近南北向展布, 断断续续地面有出露, 总长约 1500m, 最宽的地方将近 210m, 此矿带主要发育在白沙河岩组黑云斜长片麻岩和早二叠世花岗闪长岩之中。矿(化)带内发育的晶屑凝灰岩比较破碎, 大多数呈碎裂状, 主要的矿化有黄铜矿化、孔雀石化和黄铁矿化, 其中不均匀分布于鄂拉山组晶屑凝灰岩中的黄铜矿呈细粒稀疏浸染状; 同时地表岩体呈现出红褐色火烧皮现象是因为黄铁矿氧化淋滤, 矿类型属热液脉型。EH4 电磁测深呈高低阻过渡带, 视电阻率小于  $100\Omega\cdot\text{m}$ 。

II 矿带主要发育在白沙河岩组片麻岩夹片岩岩段的黑云斜长片麻岩中, 受到北东向断裂的严格受控制, 宽大约二三十米, 根据地表揭露的地质信息推测蚀变带长度大于 650m, 蚀变带两端被草皮和碎石流等覆盖。II 矿带就是经浅部探槽揭露而圈出

的蚀变带，带内黄铜矿化、黄铁矿化、铁闪锌矿化、孔雀石化、褐铁矿化、硅化等矿化蚀变。深部以黄铜矿、黄铁矿化为主，二者共生，主要沿片麻理裂隙及后期穿插充填的硅质脉体分布，多呈薄膜状、团块状，成因类型属热液脉型。EH4 剖面显示为高低阻过度带。

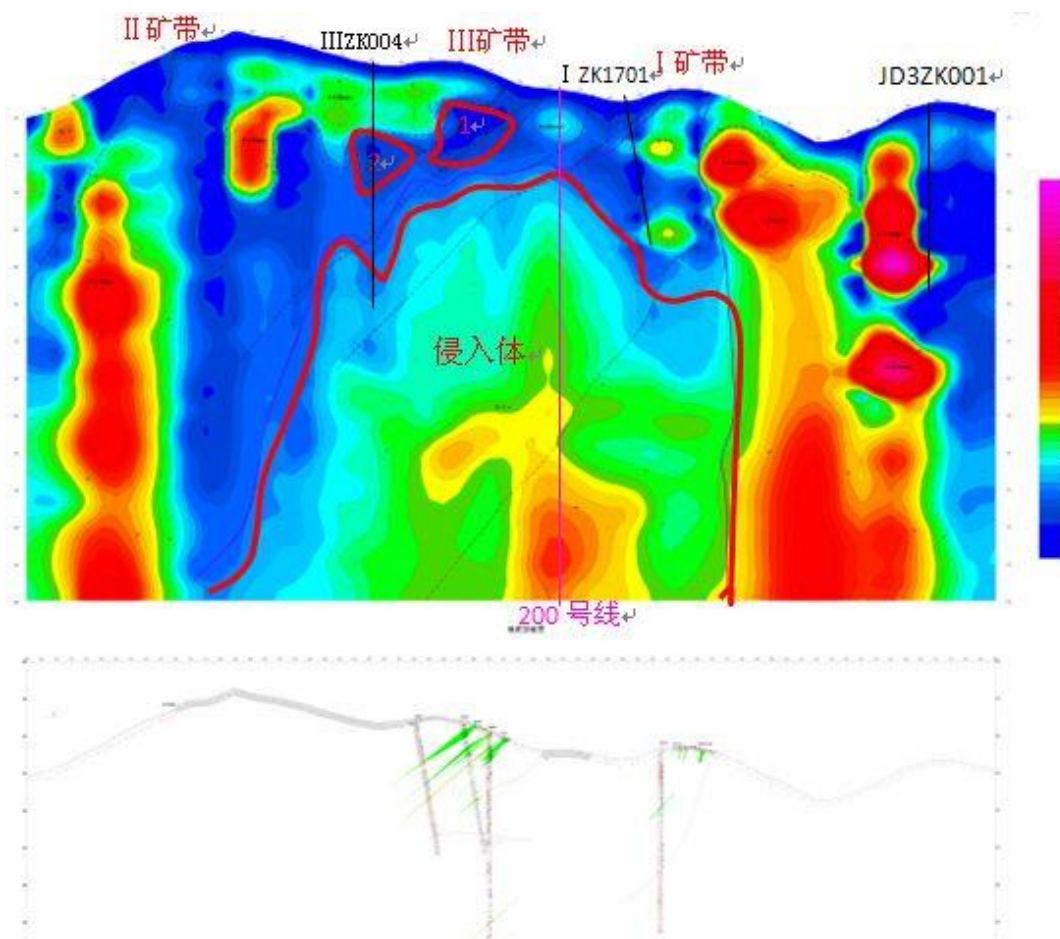


图 4.14 100 号线音频大地电磁测深视电阻率二维反演断面图

III矿带主要赋存于早二叠世与白沙河岩组的黑云斜长片麻岩中，受到北东向的断层控制，其在走向上被第四系植被覆盖，宽约 30—60m，长约 650m，矿带内还分布了不均匀的孔雀石化，从北东至西南有加强的趋势，矿带在地表主要见到了黄铜矿、孔雀石、黄铁矿和蓝铜矿等金属矿化，深部以黄铜矿和黄铁矿化为主，二者共生，主要沿片麻理裂隙及后期穿插充填的硅质脉体分布，多呈团块状。成因类型属热液脉型。EH4 电磁测深高阻覆盖的低阻异常，视电阻率小于  $150\Omega\cdot\text{m}$ 。

推断电磁测深勘探线上从 308 号点到 180 号点深部为中高阻的侵入体，侵入体顶部埋深 200m，宽 1280m。

从 200 号线断面图（图 4.15）上可以看出：

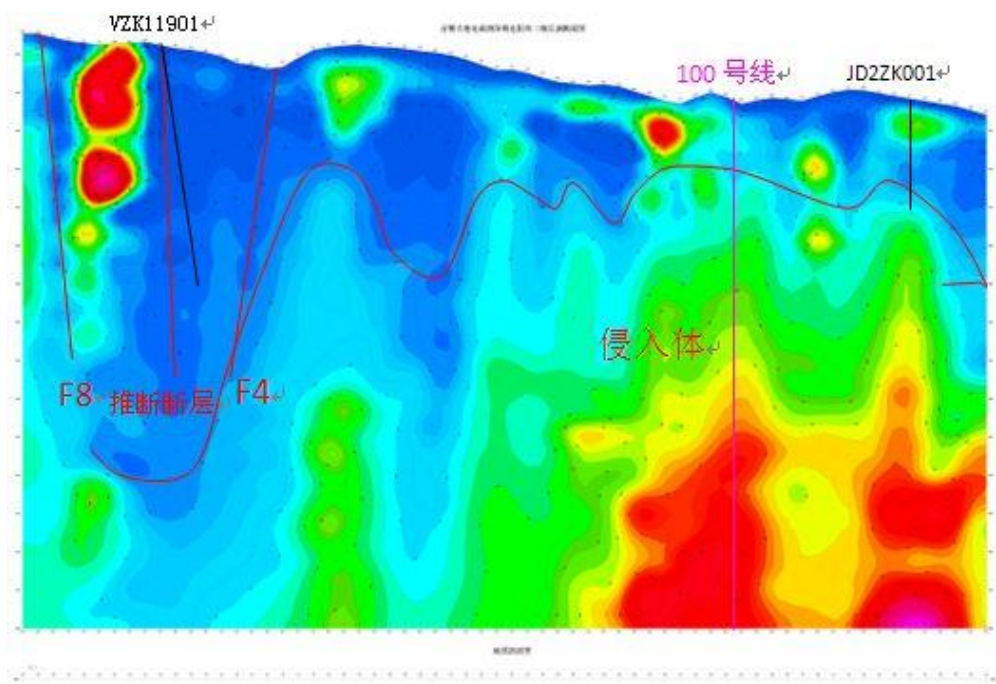


图 4.15 200 号线音频大地电磁测深视电阻率二维反演断面图

已知断裂 F4 和 F8 为高低视电阻率过渡带，类推 136 号点处有一断裂，推断为 VI 矿带控矿断裂的延伸，地表呈低阻高极化反应，勘探线北部呈中阻覆盖低视电阻率。

推断电磁测深勘探线上从南到北深部均为中高阻的侵入体，侵入体顶部埋深 200m，相交于 100 号线的 220 号点处。

从两条综合物探二维断面图可以看出，矿区深部为中高阻的二叠世花岗闪长岩侵入，矿带都富存于高低阻过度带中，既断裂破碎带中。



## 第5章 综合物探方法应用成果及找矿前景分析

### 5.1 综合物探方法应用成果

#### 5.1.1 对断裂构造的应用效果

主要以岩石的磁、电特性差异为前提,依据 1:1 万高精度磁测、激电中梯的视电阻率和视极化率平面等值线图上不同的电场特征并参考音频大地电磁测深二维断面图推断了多条断裂构造。对断裂构造有如下的地球物理特征:

1. 断裂的发生使得后期磁性矿化体侵入,形成具有明显走向的正负磁异常带。
2. 断裂的发生使岩石或地层的电性发生变化,如断裂破坏了岩石结构使岩石充水从而电阻率降低,形成具有明显走向的高低阻过渡带。
3. 沿断裂有低阻岩(体)脉侵入或多金属矿化等现象,这时沿断裂出现串珠状异常或条带状电异常。

因此高精度磁测扫面中正负异常带,激电中梯中高低阻过渡带,音频大地电磁测深中串珠状、条带状高低阻异常就是断裂构造的显示,效果非常明显。

#### 5.1.2 对矿带的应用效果

根据 1:1 万高精度磁测、激电中梯的视电阻率和视极化率平面等值线图上不同的电场特征以及音频大地电磁测深二维断面图,可以得出矿带在磁测中呈正负异常带,在激电中梯中呈高低阻过度带,在 EH4 中呈高阻覆盖的低电阻中,与已知矿带对应十分吻合,说明此综合物探方法在对矿带的勘查中效果明显,值得推广。

### 5.2 综合物探方法找矿标志及前景分析

综合已知地质成果与激电中梯(图 5.1)、1:1 万高精度磁测(图 5.3)和大地电磁测深成果(图 5.4),区内矿带近北西向展布,在地表与激电异常对应较好,受断裂构造控矿,整个勘查区断裂呈网状分布。

从矿区地质图看,矿权中心为古元古代金水口群黑云斜长片麻岩,外围被早二叠世的花岗闪长岩和早二叠世二长花岗岩包围,局部出现晚奥陶世花岗闪长岩和早侏

罗世花岗闪长斑岩。矿区内断裂蚀变带极其发育。

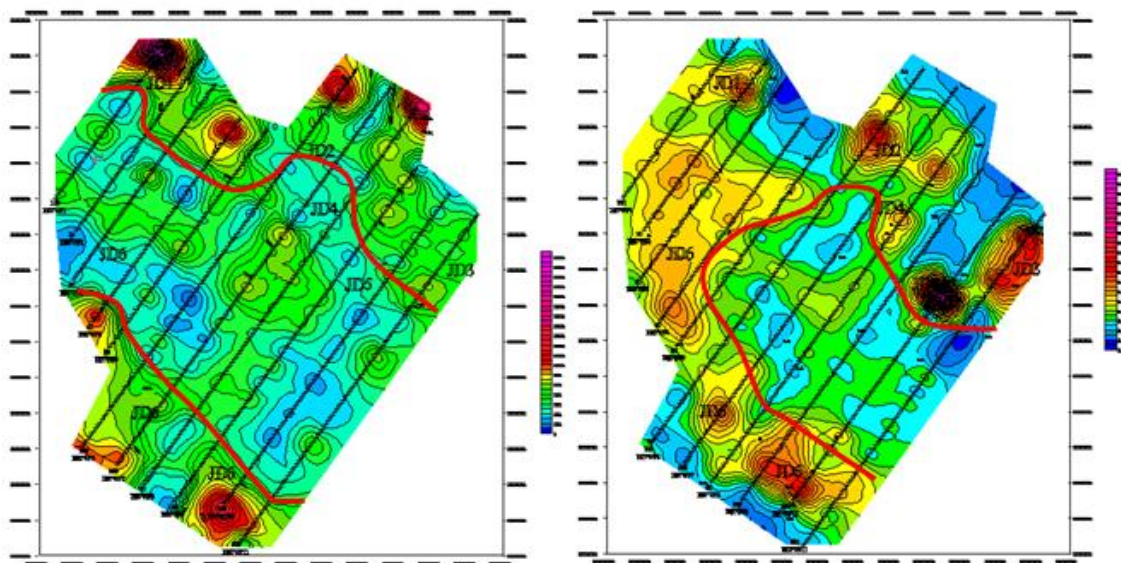


图 5.1 地面激电中梯视电阻率、视极化率平面等值线图

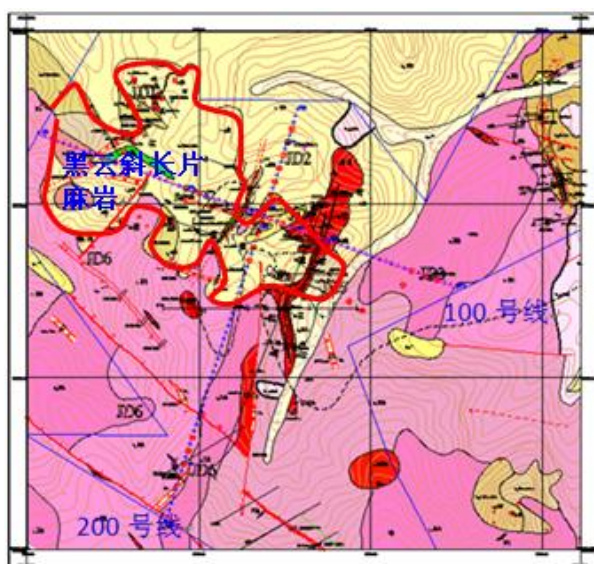


图 5.2 实际材料图

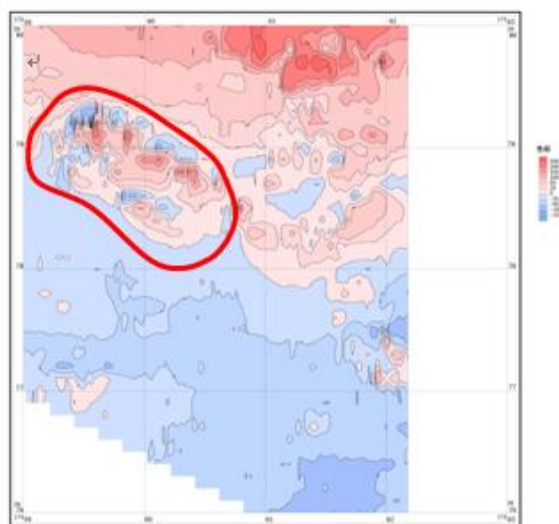


图 5.3 高精度磁测 100m 向上延拓图

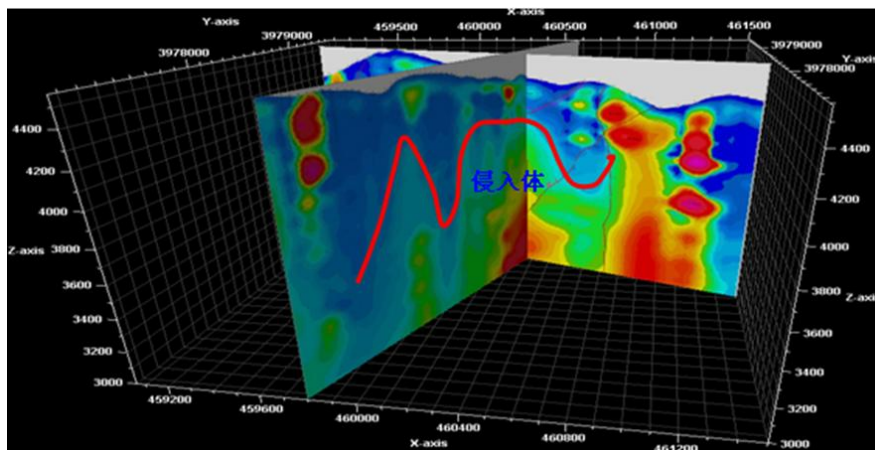


图 5.4 音频大地电磁测深二维断面图

从 1:1 万的高精度磁法扫面可以看出,老地层与围岩岩体接触,显示为高低磁异常过度带,呈马蹄形环状特征。

从两条综合物探二维断面图可以看出,矿区深部为中高阻的二叠世花岗闪长岩侵入,矿带都富存于高低阻过度带中,既断裂破碎带中。

从激电中梯扫面可以看出,整个矿区外围为中高阻高极化的带状特征,中心为低阻低极化特征,过渡带有很大找矿前景。

综合可以得出整个矿区早期为古元古代的金水口群黑云斜长片麻岩覆盖,中期受晚奥陶世花岗闪长岩和侏罗世花岗闪长斑岩侵入,后期再次受早二叠世花岗闪长岩侵入,接触面形成多层次网状断裂构造带,最终形成热液脉型矿床。因此该研究区磁异常的正负异常带、激电中梯的高低阻过度带和音频大地电磁测深的高阻覆盖低阻区域是找矿的重要标志。

### 5.3 钻孔验证情况

根据研究区综合物探方法的找矿标志,建议并施工了两个钻孔,JD2ZK001 和 VZK11901 孔,其中 JD2ZK001 号孔在 38.93-39.2m 为白铁闪锌矿化花岗闪长岩,矿石较富集,矿石局部品位为 Fe12-30%、Zn0.6-1.3%、Cu0.3-0.8%,铜矿化肉眼难以辨认。在 162.91-166.61m 为方铅矿化含脉石英花岗闪长岩。岩石具方铅矿化,矿化主要集中在 166.41-166.66m 之间,方铅矿石呈铅灰色,金属光泽,致密团块状,颗粒状赋存于裂隙中充填的石英脉中。方铅矿石中伴有少量的棕黑色细粒状闪锌矿及锡白色颗粒的白铁矿。快分仪测试,矿石的局部品味为 Pb:10-27%,Zn: 0.20-0.35%,Cu:0.12-0.25%,Ag:0.15-0.25%,Fe:10-15%。铜银矿化弱,肉眼难以辨认。另外,166.41-166.56m 见两处脉状含闪锌矿化白铁矿,白铁矿矿石呈颗粒粒状赋存于裂隙及裂隙中充填的石英脉中,白铁矿矿石锡白色金属光泽,闪锌矿石为细粒状、星点状、黑色弱金属光泽,与白铁矿石伴生,快分仪分析,矿石局部品味为: Zn0.2-0.4%,Fe8-13%,Cu0.12-0.16。在 199.41-200.33m 为闪锌矿化花岗闪长岩。岩石较完整,具闪锌矿化和黄铁矿化,闪锌矿呈黑色细粒,弱金属光泽,与少量粉末状、颗粒状的黄铁矿伴生,赋存于岩石裂隙中,快分仪分析,发现有少量的铜银矿化,但肉眼难以辨认,局部品味为 Cu0.15-4%,Zn3.5-25%,Ag0.12-0.16,Fe10-15%,Pb0.3%。

VZK11901 在 134.26-162m、167.37-201.16m 处见 1-2mm 石英脉体,在脉体中见

有团块状或浸染状黄铜矿和黄铁矿，目估含量 Cu (0.8%)；在 152.8m 处，岩石裂隙面见有 1mm 的闪锌矿。在 237.35-240.65m 处见宽 0.1-2cm 的石英脉，脉体中见有呈小团块状或浸染状黄铜矿和黄铁矿，目估含量 Cu (1.5%)。

由此可以看出通过电法、电磁法结合等手段在哈日扎矿区找矿效果明显。

## 第6章 结论

论文以哈日扎北勘查区为研究对象,开展了高精度磁测、激电中梯测深和音频大地电磁测深(EH4)等地球物理勘查方法,通过已知矿体上的地球物理反应,结合已知地质和矿化条件,对比分析了地球物理信息与地层(或岩体)、构造和铜铅锌矿化之间的相关性。结论如下:

1. 高精度磁测对区域断裂构造有较好反应。
2. 激电中梯扫面对浅部断裂构造、矿化带效果明显。
3. EH4 对断裂构造和深部岩体侵入有明显的特征。

通过采用以高精度磁测、激电中梯以及音频大地电磁测深等综合物探方法,大大提高了钻孔布置的准确性。通过综合三种物探方法互相参照,相互验证,互为补充,在成矿的有利地区布置钻孔,取得了良好的效果,并且为哈日扎矿区和类似矿区提供了通过电、磁综合物探手段找矿的工作方法。

## 参考文献

- [1]. 青海省地质矿产局合编.《青海省区域地质志》.北京：地质出版社，1991.
- [2]. 青海省地质矿产局合编.《青海省岩石地层》.武汉：中国地质大学出版社，1991.
- [3]. 青海省地质矿产勘查开发局合编.《1：100 万青海省地质图说明书》、《1：100 万青海省大地构造图说明书》，2007.
- [4]. 潘彤.青海省金属矿产成矿规律及成矿预测.地质出版社,2009.
- [5]. 青海省都兰县阿木尼克山地区 J47E017001、J47E018001、J47E018002、J47E019003 四幅 1：5 万区域地质矿产调查报告. 青海省第三地质矿产勘查院, 内部资料.
- [6]. 丰成友,李东生.吴正寿等.东昆仑祁漫塔格成矿带成矿类型、时空分布及多金属成矿作用.西北地质,2010,第 43 卷 第 4 期.
- [7]. 丰成友,李东生等. 东昆仑祁漫塔格成矿带矿床类型、时空分布及多金属成矿作用.西北地质,2010（4）.
- [8]. 徐开礼，朱志澄.构造地质学.北京：地质出版社,1984.
- [9]. 杨海云,马维明,王贵忠.青海哈日扎地区铜多金属矿找矿标志.现代矿业,2015（10）.
- [10]. 李金铭.激发极化法方法技术指南.地质出版社,2004（10）.
- [11]. 李才明.李军.重磁勘探原理及方法.科学出版社,2013
- [12]. 管志宁.地磁场与磁力勘探.北京：地质出版社,2005.
- [13]. 李大心.地球物理方法综合应用与解释. 武汉：中国地质大学出版社,2003.
- [14]. 磁法勘探.长春地质学院磁法教研室.北京：地质出版社,1979.
- [15]. 王秀明.应用地球物理方法原理 [M] .石油工业出版社,2000.
- [16]. 刘天佑.重磁异常反演理论与方法 [M] .中国地质大学出版社,1992.
- [17]. 罗孝宽.应用地球物理教程：重力磁法 [M] .地质出版社,1991.
- [18]. 安岩,邹建,谢志勇. EH-4 大地电磁测深法在某铜矿普查中的应用.科技视界,2014（13）.
- [19]. 石昆法.可控源音频大地电磁法理论与应用.科学出版社,1999.

- [20]. 王飞,陆智平等. 综合物探方法在青海抗得弄舍多金属矿区中的应用.矿产勘查,2016-7 (4) .
- [21]. Barbosa V C F,SilvaJ B C,Medeiros W E.Stability analysis and improvement tural index estimation in Euler deconvolution.Geophysics,1999,64(1):48-60.
- [22]. Kaufman A A and G V Keller. 1983. Frequency and transient soundings: Elsevier Science Publ. Co., Inc.
- [23]. Coggon J H. 1971. Electromaganetic and electrical modeling by finite element method, Geophysics , Vol . 36, No. 1
- [24]. ProkinV A,Buslaev F P.1999.Massive Copper-Zinc Sulfide Depositsin the Urals.Ore Geology Review,14(1):1-69
- [25]. Erslev E A. Normalized center-to-center strain analysis of packed aggregates. Journal of Structural Geology, 1998, 10(2):201~209.
- [26]. Aller J, Bobillo-Ares N C, Bastida F, Lisle R J, Menendez C O. Kinematic analysis of asymmetric folds in competent layers using mathematical modelling. Journal of Structural Geology, 2010, 32: 1170-1184.





## 致 谢

本论文的完成得益于导师钱烨和合作导师王金海老师的悉心指导和帮助。王老师在我进入单位参加工作以来，给予了我很多帮助，教会了我很多与专业相关的知识与技能，对本论文题目的拟定、目录框架的建立、结论的总结等方面给予了很好的指导及帮助。钱老师一直帮助我，本论文的修改及完善得到了导师很大的帮助。在此向钱老师和王老师表示衷心的感谢。

感谢王老师和青海省第三地质矿产勘查院的各位领导和同事，在参加工作的这几年生活中不仅学到了很多的东西，也留下了深刻回忆。

感谢我的父母，默默的支持我的工作，即使我远离故乡从事艰苦的地质行业，也是无条件的支持；感谢我的妻子给予我的鼓励和支持，感谢她对整个家庭的付出。

再次对我的导师、同事、家人以及在论文中被我引用或参考的论著的作者表示衷心的感谢！